Die Strukturveränderungen der deutschen Kraftwirtschaft seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors
der wirtschaftlichen Staatswissenschaften
der Rechts- und Staatswissenschaftlichen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur
Johannes Neubauer
aus Breslau

Halle (Saale) 1934

Eduard Klinz Buchdruck-Werkstätten Halle (Saale), Dölauer Straße 14

Die Strukturveränderungen der deutschen Kraftwirtschaft seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors
der wirtschaftlichen Staatswissenschaften
der Rechts- und Staatswissenschaftlichen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur
Johannes Neubauer
aus Breslau

Halle (Saale) 1934

Eduard Klinz Buchdruck-Werkstätten Halle (Saale), Dölauer Straße 14

Berichterstatter: Prof. Dr. Jahn, Halle (Saale)

Inhalt.

Seite

Einleitung 2

I. Der Stand der Kraftwirtschaft um die Jahrhundertwende 3

II. Die Strukturveränderungen in der Zeit von 1895 bis 1925 9

A. Auf dem Gebiete der Energieerzeugung 9
1. Gesamtleistung und Gesamtzahl der Anlagen . . . 9
2. Leistung der einzelnen Anlagen 14
3. Die Einrichtung der Anlagen 19

B. Auf dem Gebiete der Energieverteilung 25
1. Elektrische Kraftnetze 25
2. Sonstige Energieverteilungsnetze 28
3. Einrichtungen zum Energieausgleich 30

C. Auf dem Gebiete des Energieverbrauchs 31
1. Arbeitskraft 31
2. Fahrkraft 38
3. Heizung und Beleuchtung 41

III. Die Ursachen der Veränderungen: Die technische Entwicklung 42

A. Die Gewinnung der Rohstoffe für die Energieerzeugung . 42
1. Feste Brennstoffe 42
2. Flüssige Brennstoffe 48
3. Gasförmige Brennstoffe 50
4. Wasser 52

B. Die Erzeugung der Energie 55
1. Dampfkraftanlagen 56
2. Verbrennungskraftmaschinen 70
3. Wasserkraftanlagen 83
4. Windkraftanlagen 91
5. Sonstige Kraftanlagen 93

C. Verteilung, Ausgleich und Umsetzung der Energie . . 96
1. Elektrische Energie 98
2. Dampfkraft 103
3. Gas und Oel 105
4. Wasserkraft 107
5. Sonstiges 109

D. Verbrauch der Energie 112
1. Arbeitskraft 112
Werkzeugmaschinen 112
Fördermaschinen 114
Pumpen 115
Kompressoren 116
Landmaschinen 118
Spezialmaschinen 120
Elektrische Kraft und Wärme 121

Seite

2. Fahrkraft 123
Bahnen 125
Kraftfahrzeuge 127
Schiffe 129
Luftfahrzeuge 131
3. Sonstiges 132
Heizung 132
Beleuchtung 134
Fernmeldewesen 135

IV. Die Folgen der Strukturveränderungen für die Volkswirtschaft 137
A. Wirtschftliche Ausnützung der Energiequellen . . . 137
B. Technische Fortschritte 138
C. Nachteile der Veränderungen 139

V. Abschließende Betrachtungen 140
A. Vergleich mit der Entwicklung der Kraftwirtschaft des Auslandes 140
B. Zukunftsaussichten der deutschen Kraftwirtschaft . . 142

Vorwort.

Zur Anfertigung der vorliegenden Arbeit gab der ordentliche Professor der Staatswissenschaften an der Universität Halle-Wittenberg, Herr Dr. Georg Jahn, die Anregung dem Verfasser, der in seiner Ingenieurtätigkeit Erfahrungen im Bau und Betrieb von Kraft- und Arbeitsmaschinen gesammelt hatte. Für die Unterstützung bei der Abfassung dieser Arbeit erlaubt sich der Verfasser, an dieser Stelle Herrn Professor Dr. Jahn seinen allerbesten Dank auszusprechen.

Einleitung.

Der Mensch ist zu allen Zeiten bestrebt gewesen, die Kräfte der Natur in seinen Dienst zu zwingen und seine eignen körperlichen Fähigkeiten durch sie zu ergänzen. Schon in den sagenhaften Berichten der Vorzeit hören wir vom Wirken der Naturkräfte, die denen große Macht verliehen, die es verstanden, sie sich dienstbar zu machen. In der Entwicklungsgeschichte der Erde wird die Fähigkeit zur willkürlichen und zielbewußten Anwendung von Naturerscheinungen geradezu als Kennzeichen des Menschengeschlechts angesehen. Seit dem Altertum ist die Maschinenkraft durch zahllose Erfindungen und Versuche zu einem der wichtigsten Machtmittel der Menschen ausgebildet worden. Wenn auch die Vervollkommnung der technischen Grundlagen in gewissen Zeiten lebhaft betrieben und dann wieder stark vernachlässigt wurde, so haben doch Vertreter aller Jahrhunderte an den Fortschritten der Maschinentechnik teilgenommen. Die Entwicklung der Krafterzeugung und des Kraftverbrauchs durch Maschinen ist im letzten Jahrhundert ständig beschleunigt worden und übt seit dieser Zeit auf fast allen Gebieten des menschlichen Lebens einen maßgebenden Einfluß aus. Diese gewaltigen technischen Fortschritte gaben vielfach Veranlassung, der Menschheit eine besonders glückliche Zukunft unter dem Segen der Maschinenkraft vorauszusagen. Anderseits wird die häufige Anwendung der Maschinen in unserer Zeit als verderblich betrachtet; Arbeitslosigkeit und Schäden an Leib und Seele der Menschen werden als Folge dieser Entwicklung angesehen.

Als Grundlage für Untersuchungen über die Einflüsse der Veränderungen auf dem Gebiete der Kraftwirtschaft kann die vorliegende Arbeit dienen, die die Vorgänge innerhalb der Grenzen des Deutschen Reichs seit der Jahrhundertwende behandelt.

I. Der Stand der Kraftwirtschaft um die Jahrhundertwende.

Die Entwicklung der deutschen Kraftwirtschaft im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts zeigt sich besonders eindrucksvoll bei einem Rückblick auf die energiewirtschaftliche Lage um 1900. Zu dieser Zeit, als nur wenige Maschinenarten für die Krafterzeugung zur Verfügung standen, als leistungsfähige Einrichtungen zur Uebertragung der Energie in die Ferne erst angelegt wurden, und als die Verwendung der Maschinenkraft für die große Menge der Produktionsarbeiten mit kleinem Leistungsbedarf sich erst langsam einführte, stand die Kraftwirtschaft überhaupt noch am Anfang ihrer großen Entwicklung.

Bei einer Betrachtung der damaligen Verhältnisse beobachten wir auf fast allen Gebieten des öffentlichen Lebens technische Einrichtungen, die infolge der beschränkten Anwendung der maschinellen Energie heute stark rückständig erscheinen. Nachdem der Besucher einer großen Stadt auf seiner Reise allerdings die Dampfeisenbahn hatte benutzen können, mußte er doch am Bahnhof die Pferdebahn oder einen mit Pferden bespannten Wagen besteigen, der ihn gemächlich durch die verkehrsarmen Straßen fuhr. Die abendliche Beleuchtung der Straßen war nach heutigen Maßstäben unzureichend, nur einzelne belebte Plätze wurden durch die neuen elektrischen Bogenlampen erhellt. Das reizvolle Bild unserer strahlenden Schaufenster war nicht vorhanden, die Lichtanlage beschränkte sich auf eine ausreichende Beleuchtung der ausgelegten Waren. In den Wohnungen benutzte man die Gas- oder Petroleumlampe. Eilige Nachrichten von Ort zu Ort vermittelte ausschließlich der Telegraph. In den großen Städten begann damals die Einführung des Telephons zur Verbindung einzelner städtischer Sprechstellen. Einzelne Gebrauchsgegenstände waren noch von Handwerkern hergestellt, die von keiner Maschine bei ihrer Arbeit unterstützt wurden. Auf sehr viele der Bequemlichkeit dienende Dinge, die heute die maschinelle Massenfabrikation zu erschwinglichen Preisen für die Allgemeinheit herstellt, mußte man damals verzichten. Bei der Tätigkeit mancher Gewerbearten herrschte noch die Handarbeit vor, die die Leistungen in engen Grenzen beschränkte.

Als statistisches Material für die Beurteilung der damaligen Kraftwirtschaft stehen die Ergebnisse der Berufs-

und Gewerbezählung vom 14. Juni 1895 zur Verfügung, die in der „Statistik des Deutschen Reichs“ zusammengestellt sind. Schon beim ersten Einblick in die Tafeln dieser Veröffentlichungen des Statistischen Amts zeigt sich an der Methode der Erhebung und der Bearbeitung des Materials, welche Ausgestaltung die Kraftwirtschaft seit jener Zeit erfahren hat. Die Mängel der statistischen Unterlagen aus diesen Jahren gestatten keine fehlerfreien Vergleiche mit modernen Zählungsergebnissen. Immerhin ermöglichen sie Gegenüberstellungen mit annähernder Genauigkeit: Die Gesamt-Primärkraftmaschinenleistung im Reich betrug 1895 3,41 Millionen PS gegenüber 21,79 Mill. PS im Jahre 1925. Die Leistung ist also in dieser Zeit auf mehr als das Sechsfache und von 0,066 auf 0,345 PS auf den Kopf der Bevölkerung gestiegen. Da im Jahre 1895 die Elektrizitätswirtschaft noch in ihren ersten Anfängen stand, erzeugten 98,2 v. H. der gesamten installierten Primärkraftmaschinenleistung die Selbstversorger, während nur 1,8 v. H. in öffentlichen Elektrizitätswerken aufgebracht wurden, die mit wenigen Ausnahmen nur der Lieferung von Lichtstrom dienten. Der verhältnismäßig hohe Strompreis, der durch die Anlagekosten der Elektrizitätswerke, die hohen Preise der fast ausschließlich verwendeten Steinkohlen und die verhältnismäßig geringe Wirtschaftlichkeit der Maschinen verursacht war, ermöglichte dem kleinen Unternehmer meist noch nicht die Verwendung der elektrischen Energie in seinem Werk. Die Entfaltung der Kraftwirtschaft hatte schon vor 1895 begonnen: Seit der letzten Zählung vom Jahre 1882 wurde eine Zunahme der Kraftmaschinenbetriebe um 24 v. H. festgestellt. Die Gesamtleistung der Dampfmaschinen in Preußen war von 1879 bis 1895 von 0,9 auf 2,8 Mill. PS gestiegen.

Die Arten der Kraftmaschinen im Jahre 1895.

	Zahl der verwendenden Betriebe	Nennleistung PS	Nennleistung v. H.
Dampfmaschinen	58 530	2 721 218	79,4
Wasserkraftmaschinen	54 259	629 065	18,4
Gasmaschinen	14 760	53 909	1,6
Sonstige Verbrennungsmaschinen	3 337	10 750	0,3
Windkraftmaschinen	18 362	12 383	0,3
Heiß- und Druckluftmaschinen	951		

Mehr noch als in der Gegenwart bildete um 1900 die Kohle die Grundlage der deutschen Energiewirtschaft. Fast zwei Fünftel aller Kraftmaschinenbetriebe benutzten den Dampfantrieb. An zweiter Stelle stand mit einem hohen Anteil der Antrieb durch Wasserkraftmaschinen, deren relative Bedeutung infolge der starken Vermehrung der Wärmekraftmaschinen seit jener Zeit zurückgegangen ist. Die Gas- und sonstigen Verbrennungskraftmaschinen

hatten noch keine große Verbreitung gefunden und wurden in der Häufigkeit der Verwendung sogar von den Windkraftmaschinen übertroffen. Heißluft- und Druckluftmaschinen spielten schon damals eine untergeordnete Rolle.

Die Leistungen der einzelnen Anlagen waren gering. Eines der stärksten Kraftwerke war die Wasserkraftanlage von Schaffhausen mit 2200 PS.

Einen Ueberblick über Antriebsart und Leistung der 1895 in Betrieb oder im Bau befindlichen deutschen Elektrizitätswerke bietet die folgende Aufstellung.

Betriebskraft	Anzahl der Werke	Gesamtleistung kW
Dampf	80	27 290
Wasser	44	3 938
Gas	5	265
Druckluft	1	14
Elektromotoren	3	126
Wasser und Dampf (z. T. als Reserve)	11	893
Wasser und Gas (z. T. als Reserve)	1	30
Dampf und Gas (z. T. als Reserve)	3	1 341
	148	33 897

Die Dampfmaschinen waren ausschließlich Kolbenmaschinen, Dampfturbinen waren noch nicht in Anwendung. Außer Wasser- und Windkraftmaschinen und Elektromotoren waren also nur hin- und hergehende Antriebsmaschinen vorhanden. Für die Dampferzeugung wurde in diesen Jahren der Wasserrohrkessel eingeführt, der eine der Grundlagen für die Vergrößerung der Dampfkraftanlagen bildete.

An Elektrizitätswerken waren in Betrieb gesetzt:

bis Ende 1888	14
im Jahre 1889	10
1890	9
1891	13
1892	23
1893	29
1894	39
	137

Die Einrichtung der in Bau oder im Betrieb befindlichen Elektrizitätswerke war folgende:

System	Zahl der Werke	Maschinenleistung kW	Batterieleistung kW
Gleichstrom mit Akkumulatoren	80	14 388	4 459
Gleichstrom ohne Akkumulatoren	40	11 621	—
Wechselstrom	15	4 208	—
Drehstrom	8	2 858	—
Drehstrom u. Gleichstrom m. Akku.	2	646	32
Wechselstrom primär, Gleichstrom mit Akkumulatoren sekundär	1	99	98
Gleichstrom und Wechselstrom	2	76	—
	148	33 896	4 589

Die Gesamtleistung der in der deutschen Wirtschaft installierten Kraftmaschinen wurde, wie die folgende Aufstellung zeigt, zum größten Teil in Industriebetrieben und zu einem kleinen Teil in Handel und Verkehr verwandt. Die Landwirtschaft war fast unbeteiligt.

Verwendung der Kraftmaschinen 1895.

	Betriebe		Maschinenleistung	
	Zahl	v. H.	PS	v. H.
Industrie	139 687	85,0	3 356 538	98,0
Handel und Verkehr	21 948	13,3	69 666	2,0
Gärtnerei, Landwirtschaft	2 848	1,7	1 121	0,0
	164 483		3 427 325	

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts begann man, die Energie in größerem Umfang zum Antrieb von Werkzeugmaschinen zu verwenden. Die Vorführung der amerikanischen Werkzeugmaschinen auf der Weltausstellung im Oktober 1894 regte auch viele deutsche Fabrikanten zur Anschaffung solcher Maschinen an. In allen eisen-, metall- und holzverarbeitenden Industrien begann die Verwendung von Arbeitsmaschinen, die meist über Transmissionen angetrieben wurden. Man versuchte auch mit gutem Erfolg den Bau größerer Werkzeugmaschinen in Deutschland. Die folgende Uebersicht ermöglicht ein Urteil darüber, in welchem Umfang die Maschinenkraft zur Unterstützung der menschlichen Arbeit herangezogen wurde.

Es entfielen 1895 auf 100 Personen PS im

bei	Kleinbetrieb bis 5 Pers.	Mittelbetrieb 6 bis 20 Pers.	Großbetrieb über 20 Pers.
Metallverarbeitung	4,0	18,9	43,2
Textilindustrie	3,2	41,1	71,7
Lederindustrie	5,6	18,9	42,2
Bekleidung und Reinigung	0,1	2,1	10,9
Baugewerbe	0,5	2,1	7,4

Zu Beginn der 90er Jahre wurden in Hamburg und in anderen See- und Binnenhäfen die ersten elektrisch angetriebenen Krane aufgestellt. Auch für Aufzüge und Seilbahnen wurden elektrische Antriebe vorgesehen.

Die Erweiterung der Wasserwerke, Errichtung von Talsperren usw. machte die Aufstellung neuer maschinell angetriebener Pumpen erforderlich. Von 1882 bis 1893 war der Wasserverbrauch der deutschen Großstädte von 84,4 auf 98,1 Ltr./Tag und Einwohner gestiegen. Die Notwendigkeit der Ausnützung der Hochofengichtgase veranlaßte um 1900 die ersten Konstruktionen der Großgasmaschine zum Antrieb von Gaskompressoren. Die ersten Ausführungen wurden auf der Düsseldorfer Ausstellung 1902 gezeigt.

In landwirtschaftlichen Großbetrieben wurden Dreschmaschine und Pflug maschinell angetrieben. Als Kraftmaschine diente meist die Lokomobile ausländischer Herkunft. Der Elektromotor und die Verbrennungsmaschine fanden erst nach 1900 Eingang, sie ermöglichten erst die Ausrüstung weiterer Landmaschinen mit Kraftantrieb. Zum Antrieb von Spezialmaschinen in der Holz-, Papier- und Textilindustrie waren schon frühzeitig Wasserturbinen verwendet worden. Auch hier verursachte die rasch steigende Produktion eine Zunahme der Krafterzeugung in den fabrikeignen Anlagen. Für den Antrieb von Arbeitsmaschinen kleiner Leistung hatten sich Petroleummotoren und Gasmotoren als betriebssichere Kraftquellen bewährt. Erst zu Beginn des neuen Jahrhunderts verdrängte sie allmählich der Elektromotor. Im Jahre 1895 waren im Kleingewerbe in Berlin erst 450 Elektromotoren mit einer Gesamtleistung von 1664 PS, in Kassel 6 Elektromotoren mit zusammen 13 PS in Betrieb. In ganz Deutschland waren Elektromotoren mit einer Gesamtleistung von 5635 PS angeschlossen. Man stand also damals am Anfang der Elektromotorenverwendung, stellte sich aber rasch auf die neuen Antriebsmaschinen um, die sich von Anfang an durch wesentliche Vorteile auszeichneten. Elektrowerkzeuge für Spezialzwecke der Industrie waren um diese Zeit noch nicht ausgebildet. Die Anwendung des elektrischen Stroms beschränkte sich hauptsächlich auf die Beleuchtung. In Deutschland waren angeschlossen: 493081 Glühlampen mit 50 Watt und 12357 Bogenlampen mit 10 Amp. Als Tarif waren für Privatverbraucher 2,5 bis 4 Pfennig für 1 Brennstunde einer 16-kerzigen Lampe festgesetzt. Die PS-Stunde für Motoren kostete bei Dampfzentralen 10 bis 25 Pfennig. 1895 wurde die elektrische Straßenbeleuchtung in München eingeführt. Für den Entwurf elektrischer Zentralen wurden nach den Erfahrungen bei 30 Elektrizitätswerken 1895 folgende Durchschnittswerte angegeben:

1. Privatbeleuchtung: Es kommen auf 100 m Straßenlänge 30 bis 60 oder auf 1000 Einwohner 75 bis 300 16 kerzige Lampen.

2. Straßenbeleuchtung: Es kommen auf 100 m Straßenlänge 1 bis 2 Bogenlampen und 2 bis 4 Glühlampen und auf 1000 Einwohner Motoren von 2 bis 10 PS.

Diese Zahlen beweisen, daß die elektrische Beleuchtung immerhin sich verhältnismäßig rasch allgemein einführte, da erst 1883 die elektrische Glühlampe in Deutschland zum ersten Mal verwandt worden war.

Die Konstruktion leistungsfähiger Motoren ermöglichte den Bau von elektrischen Bahnen, nachdem man sich mit Gas- und Petroleummaschinen als Bahnantrieb

beholfen hatte. Schon 1881 entstand die elektrische Versuchsbahn Berlin-Lichterfelde, 1890 die erste elektrische Straßenbahn in Halle a. S., die die A. E. G. erbaute. Jetzt folgte schnell die Einführung elektrischer Bahnen in allen Großstädten des Reichs. 1895 waren in Deutschland 340 km elektrischer Bahnen in Betrieb, die mit 555 Motor- und 420 Beiwagen befahren wurden. Die gesamte Betriebskraft betrug 9500 PS. Im Bau begriffen waren 180 km mit etwa 290 Motorwagen. Deutschland stand mit der Streckenlänge elektrischer Bahnen damals an der Spitze aller europäischen Länder. Als Betriebskosten für 1 Zugkilometer wurden genannt in Bremen 5,3, Remscheid 10,2, Hamburg 6,5, Erfurt 6,75 und Gotha 9,1 Pfennig. Bald versuchte man auch den Bau elektrischer Lokomotiven. Auch der erste Entwurf einer elektrischen Hoch- und Untergrundbahn für Berlin stammt aus den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts. Elektrische Akkumulatoren waren seit 1890 in Anwendung. Sie waren neben Wasserstauanlagen bei Wasserkraftwerken die einzigen Einrichtungen zur Energiespeicherung und zum Ausgleich von Belastungsspitzen.

Das Fernverkehrswesen beruhte um die Jahrhundertwende völlig auf der Dampfeisenbahn. 1894 verkehrten auf einem Netz von 43 784 km Länge mit 7 993 Stationen 15 715 Lokomotiven, 29 675 Personenwagen und 307 204 Güterwagen. Die jährlichen Betriebseinnahmen der deutschen Eisenbahnen betrugen 1,407 Milliarden Mark, von denen 516 Millionen an die Staatskassen abgeliefert wurden. Die Eisenbahnen befanden sich schon auf einem Stand hoher technischer Vollkommenheit. Die Lokomotiven erreichten Höchstgeschwindigkeiten bis zu 100 km/h, wenn auch der Aufwand an Brennstoff weit höher als heute war. Die Gesamtleistung der deutschen Lokomotiven wurde 1895 auf 7 288 650 PS geschätzt. Im Jahre 1895 wurde als schnellstes Schiff Europas die Kaiseryacht „Hohenzollern" mit 22 Sm/h Geschwindigkeit in Dienst gestellt. Ihre Kolbendampfmaschinenanlage entwickelte 9 635 PS. Als schnellster Passagierdampfer wurde der Schnelldampfer „Kaiserin Augusta" mit 21 Sm/h Geschwindigkeit und einer Maschinenleistung von 12 832 PS in Betrieb genommen. 1895 waren 1061 Seedampfer mit 801 750 PS Maschinenleistung, 1892 1530 Küsten- und Flußdampfer mit 171 360 PS Maschinenleistung in Verwendung. Der Motorantrieb von Schiffen beschränkte sich im Hamburger Hafen auf eine Maschinenleistung von 259 PS.

Die Einrichtung der Schiffe ließ nach heutigen Begriffen viel zu wünschen übrig. Die bequemen Elektromotoren zum Antrieb von Ventilatoren, Fahrstühlen, Kranen, Pumpen usw. waren nicht vorhanden, und auch

die elektrische Beleuchtung war noch selten eingerichtet. Trotzdem regte sich auch in der Schiffahrt eine verstärkte Nachfrage, die den Aufbau der starken deutschen Handelsflotte veranlaßte. Der Schiffahrt zwischen den deutschen Häfen diente auch der Kaiser-Wilhelm-Kanal, der 1895 eröffnet wurde. 1897 erregte ein kleiner Dampfer „Turbinia" allgemeines Aufsehen durch seine unerhörte Geschwindigkeit von 32 Sm/h. Er war das erste Schiff, das Dampfturbinen zum Antrieb seiner Propeller verwandte. Auf Grund der günstigen Versuchsergebnisse wurde 1901 das erste größere Seeschiff mit Parsons-Turbinen ausgerüstet.

In diesem Abschnitt wurde versucht, den Stand der Kraftwirtschaft am Ende des vorigen Jahrhunderts auf den verschiedensten Anwendungsgebieten nachzuweisen. Infolge schwacher Anwendung der Maschinenkraft bestanden an vielen Stellen technische Beschränkungen, die die Veränderungen in den ersten Jahrzehnten des neuen Jahrhunderts beseitigt haben.

II. Die Strukturveränderungen in der Zeit von 1895 bis 1925.

A. Auf dem Gebiete der Energieerzeugung:

1. Gesamtleistung und Gesamtzahl der Anlagen.

Seit dem Ausgang des vorigen Jahrhunderts hat sich die Energiewirtschaft des Reiches, gestützt auf die natürlichen Energiequellen und gefördert durch den hohen Stand der deutschen Maschinen- und Wärmetechnik, in rascher Entwicklung auf ihre gegenwärtige bedeutende Stufe erhoben. Das unaufhaltsame Eindringen der Maschinenkraft in Betriebe jeder Art und fast jeder Größe ließ die Gesamt-Kraftmaschinenleistung des Reiches rasch ansteigen.

Gesamtleistung der installierten Kraftmaschinen.

	1895	1907	1925
Gesamtzahl aller Betriebe	3,7 Mill.	4,1 Mill.	8,6 Mill.
Davon mit Verwendung von Kraftmaschinen	0,2 Mill.	0,3 Mill.	1,2 Mill.
v. H. aller Betriebe	5,4	7,3	13,9
Gesamtleistung, PS	4 Mill.	11 Mill.	58 Mill.

Diese und die nachfolgenden Zahlenangaben wurden bei den Berufs- und Gewerbezählungen vom 14. 6. 1895, vom 12. 6. 1907 und vom 16. 6. 1925 ermittelt. Bei der Nebeneinanderstellung der Ergebnisse der verschiedenen

Zählungen ist zu bemerken, daß infolge der schon im ersten Abschnitt erwähnten Mängel bei der Erhebung von 1895, die zum Teil auch 1907 noch vorhanden waren, eine genaue Vergleichbarkeit nicht besteht. Immerhin zeigt die Zusammenstellung trotz gewisser Ungenauigkeiten die gewaltige Zunahme der Energieerzeugung. Das Gebiet der Kraftwirtschaft ist in dem betrachteten Zeitabschnitt der allgemeinen Betätigung erschlossen und unter dem Druck der Entwicklung der Technik so eingehend bearbeitet worden, daß ein Anwachsen dieses Wirtschaftszweiges erzielt wurde, das eine Umgestaltung der meisten Vorgänge im ganzen Volksleben zur Folge hatte. Die Gesamtheit der Kraftmaschinen setzte sich im Jahre 1925 aus den folgenden Maschinenarten zusammen:

	Stückzahl	Nennleistung, Mill. PS
Primärkraftmaschinen	261 000	22,4
Elektrogeneratoren	53 000	13,6
Elektromotoren	2 401 000	18,9
rotierende Umformer	21 000	3,0

Die für die Beurteilung der Entwicklung der Kraftwirtschaft wichtigste Erzeugung der Primärkraft hat sich in folgendem Umfang vermehrt:

	1895	1907	1925
Gesamte Primärkraftmaschinenleistung in Mill. PS	3,41	7,87	21,79
Leistung auf den Kopf der Bevölkerung, PS	0,066	0,126	0,345

Die mangelnde Uebereinstimmung mit den Angaben der vorigen Zusammenstellung beruht auf Unterschieden in den Erhebungsgrundlagen. Ferner ist bei der Nachweisung der Primärkraftmaschinen zu beachten, daß 1895 und 1907 die Gefahr der Doppelzählung der zum Antrieb von Stromerzeugern dienenden Primärkraft und der Elektromotorenleistung vorlag, weil verliehene Kraftmaschinen unter Umständen mehrfach gezählt wurden, und daß als „Leistung" die Betriebsleistungen sämtlicher Maschinen einschließlich der Reservemaschinen statt der Nennleistung der in Betrieb befindlichen Maschinen angegeben sind. Da bei der Zählung von 1925 die genannten Mängel vermieden wurden, dürfte die tatsächliche Zunahme der Primärmaschinenkraft die Angaben noch übersteigen. Die Entwicklung nach dem Jahre 1925 ist durch keine allgemeine Zählung mehr festgestellt worden. In Anbetracht der bedeutenden Veränderungen in der deutschen Wirtschaft seit 1925 wird eine neue Zählung, die in dem Jahr 1933 ausgeführt ist, wichtige Aufklärungen über die allgemeine volkswirtschaftliche wie über die energiewirtschaftliche Lage der Gegenwart geben.

Die Erzeugung der primären Energie ist im Laufe ihrer Entwicklung in stetig zunehmendem Maße aus den

Händen der privaten Bewirtschaftung in die der öffentlichen Versorgung übergegangen, wie die untenstehende Zusammenstellung zeigt. Die Voraussetzung für diese grundlegende Veränderung in der Struktur der Energiewirtschaft war der Ausbau der Elektrizitätserzeugung.

Entwicklung der öffentlichen und privaten Primärkraftversorgung.

	1895		1907		1925	
	PS	v. H.	PS	v. H.	PS	v. H.
Insgesamt	3 414 866	100,0	7 865 113	100,0	21 581 456	100,0
Oeffentliche Elektriz.-Werke	61 108	1,8	979 649	12,5	6 776 336	31,4
Private Energ.-Erzeugung	3 353 758	98,2	6 885 464	87,5	14 805 120	68,6
davon für:						
Industrie u. Handwerk	3 279 612	96,0	6 627 042	84,2	14 377 481	66,6
Handel, Verkehr u. a.	74 146	2,2	258 422	3,3	427 639	2,0

Die Verschiebung zu Gunsten der öffentlichen Energieerzeugung, die sich nach 1925 weiter fortgesetzt hat, entspricht der Entwicklungsrichtung der gesamten Wirtschaft in ihrem Streben nach Kapital- und Kraftersparnis durch wirtschaftlich günstigere Betriebsführung. Die technische Entwicklung gab in erster Linie der Elektrizitätswirtschaft die Möglichkeit, die vorteilhafte zentrale Energieversorgung anzuwenden. Die Zahl der öffentlichen Elektrizitätswerke hat sich von 1900 bis 1926 von 90 auf 407, ihre Stromerzeugung von 232 Mill. auf 12 170 Mill. kWh erhöht.

Trotzdem hat die private Energiebewirtschaftung in Deutschland, gemessen an der installierten Primärkraftmaschinenleistung, bisher noch die größere Bedeutung behalten. Ihre Leistungsfähigkeit übertraf 1925 die der öffentlichen Energieversorgung um mehr als das Doppelte. Die Eigenversorgung tritt fast ausschließlich in der Industrie auf, ferner verfügen die Verkehrsunternehmungen über eine größere Zahl eigener Stromerzeugungsanlagen, während in den übrigen Gewerbezweigen und in der Landwirtschaft die Selbstversorgung sowohl mit mechanischer als auch mit elektrischer Energie nur eine untergeordnete Rolle spielt. Die folgende Uebersicht beantwortet die für das Strukturbild der Kraftwirtschaft wichtige Frage, in welchem Maße die privat erzeugte Energie zum unmittelbaren mechanischen Antrieb von Arbeitsmaschinen am Orte der Kraftmaschine oder zur Erzeugung elektrischen Stroms und zur weiteren Verteilung durch Kraftnetze verwandt wird.

Von der in der Eigenversorgung installierten Primärkraftmaschinenleistung dienten 1925:

	zum direkten mech. Antrieb	zur Stromerzeugung	als Reserve
	1000 PS	1000 PS	1000 PS
in Industrie und Handwerk	6264	4472	3672
in der Landwirtschaft	470	68	—
im Handel u. sonst. Gewerbezweigen	472	187	170

Der unmittelbare mechanische Antrieb durch die Kraftmaschine hatte also im Jahre 1925 noch bei weitem die Oberhand, trotz dem aus den folgenden Zahlen ersichtlichen Vordringen der Elektrotechnik und dem Siegeszug der Elektromotoren, die in gut geeigneten Konstruktionen für die verschiedenen Arten von Arbeitsmaschinen und in allen notwendigen Größen zur Verfügung stehen.

	1907	1925
Primärkraftmaschinenleistung zum unmittelb. Antrieb, PS	7,4 Mill.	7,2 Mill.
Elektromotorenleistung, PS	2,1 Mill.	18,9 Mill.

Nach 1925 dürfte die Verwendung des unmittelbaren Antriebs weiter erheblich zurückgegangen sein.

Von 1000 Betrieben überhaupt verwandten 1925 Motoren:

	Betriebe, und zwar:	Primärkraft	Elektromotoren
in Industrie, Handwerk	229	53	176
in der Landwirtschaft	138	14	124
in Handel u. sonst. Gewerben	36	5	31

Wenn auch am Ende des betrachteten Zeitabschnitts noch zahlreiche Möglichkeiten für die Versorgung durch zentral erzeugte Energie nicht ausgenützt sind, so hat sich die Verwendung der Kraftübertragung doch seit Beginn des Jahrhunderts grundsätzlich durchgesetzt. Sie ist die Grundlage der modernen Energiewirtschaft geworden, da es erst seit der Einführung von Energiearten, die sich über große Gebiete verteilen lassen, möglich geworden ist, Antriebskraft in bequemer Form käuflich zu erwerben.

Die Statistik gestattet noch einen Einblick in die energiewirtschaftliche Entwicklung der einzelnen Landesgebiete. Die folgende Tafel zeigt neben der gleichmäßig starken Entwicklung in den westlichen Industriezentren den Aufstieg der durch Braunkohle und Wasserkraft der Großkraftversorgung erschlossenen Gebiete der Provinz Sachsen und Südbayerns. Der Anteil der Provinz Sachsen an der gesamten Primärkraftmaschinenleistung im Reich hat sich von 4,8 auf 8 v. H., der Südbayerns von 3,5 auf 5 v. H. erhöht. Am schnellsten hat sich seit 1907 die Stadt Berlin entwickelt. Sie hat mit der Zunahme von 100000 auf rund 700000 PS fast die Hälfte der im Freistaat Sachsen installierten Primärkraftmaschinenleistung erreicht.

Die Entwicklung der Primärkraftmaschinenleistung in den wichtigsten

Ländern und Provinzen[1])	Primärkraftmaschinen insgesamt (1000 PS) 1895	1907	Zunahme in v. H. seit 1895	1925	Zunahme in v. H. seit 1907	Primärkraftmaschinenleistung je 1000 Erwerbtät. 1895 PS	1907 PS	1925 PS
Preußen, davon	2179,09	5197,38	138,5	15 161,91	191,7	181	325	799
Ostpreußen	28,09	76,02	170,6	258,77	240,4	39	90	243
Stadt Berlin	54,55	101,98	86,9	703,05	589,4	77	107	322
Brandenburg	143,29	379,15	164,6	827,42	118,2	129	233	601
Pommern	42,26	101,99	141,3	389,00	281,4	74	145	423
Schlesien[2])	300,23	724,22	141,2	1 308,06	80,6	170	339	563
Sachsen	169,90	378,61	122,8	1 699,38	348,8	165	293	1 043
Schleswig-Holstein	45,96	118,93	158,8	364,70	206,7	90	186	502
Hannover	144,01	328,04	127,8	925,91	182,3	154	329	552
Westfalen	478,38	1061,34	121,9	3 721,76	250,7	501	731	1 699
Hessen-Nassau	77,68	188,69	142,9	541,36	186,9	116	207	440
Rheinprovinz	621,48	1564,66	151,8	4 381,43	180,0	328	586	1 269
Bayern	315,65	642,07	103,4	1 964,40	205,9	121	193	496
Südbayern	266,55	286 94	100,1	1 099,67	283,2	116	183	483
Nordbayern		246,32		585,54	137,7			
Pfalz	49,10	108,81	121,6	279,19	156,6	157	267	592
Sachsen	340,60	809,68	137,7	1 562,14	92,9	215	417	580
Württemberg	103,62	228,82	120,8	625,70	173,4	116	215	407
Baden	93,85	244,37	160,4	629,77	157,7	119	240	495
Thüringen	77,24[3])	190,15[3])	146,2	401,29	111,0	145[3])	313[3])	474
Hessen	42,70	101,95	138,8	293,55	187,9	103	205	416
Hamburg	25,21	89,81	256,2	309,56	244,7	94	233	528

[1]) Bis 1907 einschl. der abgetrennten Gebietsteile.
[2]) Provinz Ober- und Niederschlesien.
[3]) Jetziges Gebiet.

Als Ergebnis der bisherigen Untersuchungen zeigt sich zunächst das mächtige Anwachsen der Krafterzeugung, das durch den rasch ansteigenden Kraftbedarf des Reiches infolge der allgemeinen Technisierung verursacht wurde. Der Uebergang von der Eigenversorgung zur öffentlichen Krafterzeugung ergab eine Konzentrationsbewegung, die einer Verschleuderung der vorhandenen Energiequellen Einhalt gebot und durch Verbilligung der erzeugten Kraft der weiteren Förderung der allgemeinen Anwendung der Maschinenkraft zugute kam, so daß die Kraftwirtschaft jedem Gewerbe zu immer günstigeren Bedingungen die notwendige Energie zur Verfügung stellen konnte.

2. Leistung der einzelnen Anlagen.

Von 1895 bis 1925 ist die durchschnittliche Leistung der deutschen Primärkraftmaschinenbetriebe von 21 auf 122 PS/Betrieb gestiegen. Das im vorigen Abschnitt nachgewiesene Anwachsen des Gesamtverbrauchs, das mit einer starken Konzentrationsbewegung in der Krafterzeugungswirtschaft verbunden war, ist der Grund dieser Steigerung. Von der Seite der Technik übten die konstruktiven Möglichkeiten maßgebende Einflüsse auf die Größe der Anlagen aus, da an vielen Stellen der privaten industriellen Energieerzeugung wie der öffentlichen Kraftversorgung in dem Streben nach wirtschaftlich günstigen Maschinen bei entsprechendem Bedarf die größt-möglichen Aggregate gewählt wurden. Die Höchstwerte der Leistungen der Kraftmaschinen-Einheiten in Deutschland haben sich etwa wie folgt gesteigert: Eine eingehende Behandlung der technischen Einrichtungen erfolgt im zweiten Hauptabschnitt.

Leistungen in PS	um 1900	um 1925
Dampfmaschinen	1500	110 000
Wasserkraftmaschinen	1500	30 000
Gasmaschinen	100	8 000
Dieselmaschinen	—	12 000

Die Größe der Kraftanlagen der Betriebe mit Eigenkraftversorgung betrug in den verschiedenen Gewerben im Jahre 1925:

	kW Generatorenleistung je Anlage
Bergbau	1254
Eisen- und Metallgewinnung	969
Chemische Industrie	409
Papierindustrie	207
Textilindustrie	121
Maschinen-, Apparate-, Fahrzeugbau	121
Nahrungs- u. Genußmittelgewerbe	25

Da infolge Fehlens von Vergleichswerten aus früheren Jahren die Veränderungen der Anlagegrößen der privaten Kraftanlagen nicht nachgewiesen werden können, muß sich die Untersuchung auf den Hinweis beschränken, daß in zahlreichen Einzelberichten der Einbau moderner starker Kraftmaschinen in den Betrieben der Industrie seit Beginn des Jahrhunderts mitgeteilt wurde. So ist die Großgasmaschine mit Einheitsleistungen von mehreren tausend PS nach 1900 für den Bedarf der Hüttenwerke erst entwickelt worden. Für den Antrieb von Walzenstraßen, Fördermaschinen, Gebläsen usw. wurden Dampfmaschinen großer Leistung in Betrieb genommen. Andere Industrien wie Textil-, Papierindustrie, Mühlen usw. haben Wasserturbinen-Einheiten beträchtlicher Leistung zur eigenen Energieversorgung eingebaut. Bei diesen Betrachtungen bleiben zunächst die Einrichtungen der Fahrzeuge aller Art unberücksichtigt, die mit Ausnahme der elektrischen Bahnen sämtlich Primärkraftanlagen enthalten.

Betriebe mit niedrigem Kraftbedarf, der den Betrieb eigener Kraftmaschinen nicht mehr rechtfertigte, wandten sich den Energien zu, die nach der Ausbildung leistungsfähiger Kraftübertragungseinrichtungen in wachsendem Umfang von den öffentlichen Krafterzeugern angeboten wurden.

Die Entwicklung der öffentlichen Elektrizitätserzeugung im Reich.

	Zahl der Werke	Ausgebaute Leistung 1000 kW	Erzeugte kWh in Mill.	Erzeugte kWh pro Einwohner
1900	90	147	232	4,2
1926	407	5660	12 170	192,0

Die leistungsfähigsten Kraftwerke entstanden an den Quellen billiger Rohstoffe, wie die der „Elektrowerke A.G." auf der mitteldeutschen Braunkohle, das „Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk" auf der linksrheinischen Braunkohle, das Walchenseewerk an den bayrischen Wasserkräften u. a. Kleinere Werke wurden infolge der höheren Erzeugungskosten zur Einstellung ihres Betriebes oder zur Deckung des Mehrbedarfs durch Fremdstrom gezwungen. Die zunehmende Konzentrationsbewegung in der öffentlichen Elektrizitätserzeugung wird in der folgenden Zusammenstellung gezeigt, die die Leistung und Stromerzeugung der 10 jeweils größten öffentlichen deutschen Elektrizitätsunternehmungen enthält.

	1907	1910	1916	1920	1924
Leistung in kW	221 610	319 184	792 990	1 094 695	1 537 200
v. H. der install. Gesamtleistung	42,9	35,5	35,0	36,2	36,0
Stromerzeugung in 1000 kWh	549 082	779 818	2 231 582	2 881 359	3 787 119

Die Konzentration bei den öffentlichen Werken wird auch durch den folgenden Vergleich deutlich:

Die Durchschnittsleistung der Primärkraftmaschinen betrug im Jahre 1925:

in der öffentlichen Elektrizitätsversorgung	657,1 PS
in der privaten Energiebewirtschaftung in	
Industrie	95,8 PS
Landwirtschaft	6,7 PS
sonstigen Gewerben	32,7 PS

Jn der „Deutschen Bergwerkszeitung" 1925 (Jubiläumsausgabe) hat Dr. Windel für den Ausbau der öffentlichen Elektrizitätswerke die folgenden geschichtlichen Entwicklungsstufen genannt:

1. 1878 bis 1884 Einzelanlagen
   1884 bis 1890 Blockanlagen zur Versorgung einzelner Häuserblocks
2. 1890 bis 1900 Stadtzentralen.

Infolge des steigenden Strombedarfs regte sich das Interesse der öffentlichen Körperschaften, und es begann der Bau städtischer Werke. Im Jahre 1900 befanden sich in Städten mit über 30000 Einwohnern von 76 Elektrizitätswerken schon 40 in öffentlicher Verwaltung.

3. 1900 bis 1912 Ueberlandzentralen.

Technische Vervollkommnungen der Kraftwerke ermöglichten erhebliche Herabsetzung der Stromkosten, die vielen Betrieben Anreiz zur Deckung ihres Kraftbedarfs aus den Ueberlandwerken boten. Viele städtische Werke wurden für die Ueberlandversorgung eingerichtet.

4. Seit 1913 Großkraftwerke.

Die schnelle Produktionssteigerung, besonders nach dem Krieg, ferner der Kohlenmangel, veranlaßte viele Industrien zum Anschluß an die öffentliche Kraftversorgung. Die Steigerung des Lichtbedürfnisses in den Städten und auf dem Land verursachten die bedeutende Zunahme des Strombedarfs.

Bei der in den 90er Jahren beginnenden Konzentrationsbewegung wurden Unternehmungen in Verbindung mit Großbanken gegründet, die den Zweck verfolgten, elektrische Anlagen aller Art zu finanzieren und zu übernehmen. So gründete die Loewe-Gesellschaft 1894 die „Gesellschaft für elektrische Unternehmungen", 1910 gründete die A. E. G. die „Elektrizitäts-Lieferungs-Gesellschaft Berlin" und die „Züricher Elektrobank". Vor Kriegsausbruch kontrollierte die A. E. G. etwa ein Viertel der gesamten öffentlichen Stromerzeugung. Das Hauptziel der großen Gesellschaften war die Sicherung eines dauernden Absatzes und die Verteilung des Risikos. Die Aufrich-

tung eines Staatsmonopols war wegen großer technischer und organisatorischer Schwierigkeiten nicht möglich, jedoch befürchtete man vielfach die Bildung eines privaten Monopols. Nach dem Emporblühen der Krafterzeugungsbetriebe suchten die öffentlichen Körperschaften auf Grund von Konzessionsrechten die vorhandenen Anlagen zu übernehmen. In dieser Zeit entstanden die gemischtwirtschaftlichen Unternehmungen mit Teilnahme der öffentlichen Körperschaften als A. G. oder G. m. b. H. Kreise, Provinzen und Staaten wurden als Teilnehmer aufgenommen. Den schon vor dem Krieg bestehenden dringenden Forderungen zur Schaffung eines Reichsmonopols zum Schutz des Allgemeininteresses gegenüber der Privatwirtschaft entsprach erst das 1919 erlassene Gesetz betreffend die „Sozialisierung der Elektrizitätswirtschaft", dem aber Ausführungsbestimmungen nicht gefolgt sind.

Nach Weber betrug der Anteil der Unternehmungsformen an der Gesamterzeugung der öffentlichen Werke in v. H.

	1910	1916	1920	1924
Private Werke	59,0	41,0	29,7	23,5
Gemischt-wirtschaftliche Werke	0	21,45	26,1	29,5
Kommunale Werke	39,9	34,25	25,4	21,8
Verpachtete staatliche und provinzielle Werke	1,1	3,3	18,8	25,2
Staatliche Werke allein	0	2,5	16,2	25,0
	100	100	100	100

Bei dem Uebergang kurz vor und nach dem Kriege von den örtlichen Kraftwerken zu den großen Elektrizitätsgesellschaften stellten die deutschen Länder in den meisten Fällen den Hauptanteil des erforderlichen Kapitals zur Verfügung. In Preußen stand an der Spitze aller Gesellschaften die Rheinisch-Westfälische-Elektrizitätswerke A. G. (R. W. E.), das weitaus größte Elektrizitätsunternehmen Deutschlands. Sie wurde 1898 durch die Elektrizitätswerke A. G. vorm. W. Lahmeyer & Co. in Essen gegründet. Aus einem Unternehmen zur Belieferung der Stadt Essen wuchs es mit Unterstützung durch Stinnes, Thyssen und den Stahlwerksverband rasch. Heute umfaßt sein Versorgungsgebiet den größten Teil der Rheinprovinz, große Teile von Hannover, Westfalen, Hessen-Nassau und Rheinhessen, sowie Teile von Oldenburg und vom Saargebiet. Stromlieferungsverträge bestehen mit allen angrenzenden Werken. Die gesamte Kraftwerksleistung beträgt etwa 1 Million kW. Zu ihm gehören das mit Braunkohle betriebene Goldenbergwerk bei Köln mit 500000 kW und das Pumpspeicherwerk bei Herdecke (Ruhr) mit 140000 kW installierter Leistung. Von den rund 2 Milliarden erzeugten kWh im Jahr 1928/29 wurden nur etwa 132 Millionen für Licht und 1,935 Milliarden für die Industrie abgegeben.

Der Strompreis beträgt 33,3 Pfennige für Licht und 15,75 Pfennige für Kraftstrom.

Die „Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen G. m. b. H." (V. E. W.) schloß sich 1925 mit den R. W. E. zusammen. Die V. E. W. hat 4 Steinkohlen- und 1 Wasserkraftwerk mit einer Gesamtleistung von 243 659 kW.

Die nördlichen Teile Westfalens, Hessen-Nassau und Hannover und kleinere nördliche Landesteile versorgt die „Preußische Elektrizitäts A. G.", an der der preußische Staat zu 90 v. H. beteiligt ist (Pre. A. G.). Zu ihr gehört auch das Torfkraftwerk Wiesmoor. In der Provinz Brandenburg beherrscht die „Märkische Elektrizitätswerke A. G." die Stromerzeugung. Auch Teile von Schlesien, Westpreußen, Pommern und Mecklenburg werden von der M. E. W. versorgt. Das Braunkohlenkraftwerk „Finkenheerd" mit 130 000 kW untersteht ihr, ferner das größte Dieselmotorenwerk Deutschlands, Henningsdorf, mit 15 000 kW installierter Leistung.

Die Stadt Berlin hat ihr eigenes Unternehmen, die „Berliner städtische Elektrizitätswerke A. G." (Bewag). Klingenberg mit 270 000 kW ist ihr größtes Werk. Es folgt das Westkraftwerk mit 228 000 kW, wovon erst die Hälfte ausgebaut ist.

Den Osten Preußens versorgt die „Elektrizitätswerk Schlesien A. G." mit den Steinkohlenwerken Tschechnitz, Mölke und Waldenburg.

Die dem Reich gehörenden „Elektrowerke" haben in Golpa-Zschornewitz ein Braunkohlengroßkraftwerk mit 440 000 kW Leistung, ferner Lauta und Trattendorf.

In Sachsen wurden 1923 alle staatlichen Unternehmen zu der „A. G. Sächsische Werke" zusammengefaßt. Das größte Kraftwerk ist Böhlen mit über 200 000 kW, ferner das Speicherkraftwerk Niederwartha bei Dresden mit einer größten Energiespeicherung von 560 000 kWh. Die „Bayernwerk A. G." wurde 1920 gegründet, sie gehört dem bayrischen Staat. Ihr gehört das Walchenseewerk mit 97 000 kW und die Kraftwerke der mittleren Isar.

Die „Württembergische Landes-Elektrizitäts A. G." ist nur ein Stromverteilungsunternehmen ohne eigenes Kraftwerk. Die Hauptversorgung Badens hat das staatliche Badenwerk, von dem das Schluchseewerk gebaut wird, das eine Gesamtleistung von 273 000 kW haben wird.

Zwischen allen genannten Werken bestehen Kraftübertragungsleitungen, so daß bei Ausfällen und Störungen Stromersatzlieferungen erfolgen können. Auch mit Frankreich und der Schweiz bestehen Hochspannungsverbindungen.

Installierte Leistung und abgegebene Arbeit der Großversorgungsunternehmungen im Jahre 1929 und 1930.

	Installierte Leistung in kW		abgegebene Arbeit in 1000 kWh	
	1929	1930	1929	1930
Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk A. G.	770 493	926 593	2 627 865	2 608 756
Vereinigte Elektrizitätswerk Westfalen G. m. b. H.	219 511	229 881	503 371	492 964
Preußische Elektrizitätswerk A. G.	179 430	217 460	429 632	480 792
Berliner Städtische Elektrizitätswerk A. G.	643 550	763 550	1 324 006	1 290 643
Märkisches Elektrizitätswerk A. G.	191 317	195 685	443 792	463 051
Elektrizitätswerk Schlesien A. G.	87 000	103 500	218 246	225 691
A. G. Sächsische Werke	398 205	457 071	917 611	848 347
Bayernwerke	131 400	186 400	604 142	588 547
Badenwerk	56 920	56 920	232 404	282 350
Württembergische Landes-Elektrizitäts-A. G.	151 146	167 503	207 078	173 590
Elektrowerke A. G.	735 950	735 950	2 240 890	2 132 471
	3 564 922	4 040 513	9 749 037	9 587 142

Die Hauptaufgabe, die sich alle diese Unternehmungen gestellt haben, ist die Konzentration der Krafterzeugung in ihrem Versorgungsbereich.

In der Geschichte der öffentlichen Kraftwirtschaft sind auch rückläufige Entwicklungen vorgekommen. Verschiedene Werke, die in der Gründerzeit der Elektrizitätsversorgung ohne ausreichende wirtschaftliche Erfordernisse entstanden waren, mußten ihre Betriebe schließen oder in anderen Unternehmungen aufgehen. Hier zeigte sich die Auswahl nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten innerhalb der Konzentrationsbewegung.

Die Betrachtung der Leistungen der einzelnen Anlagen ließ die Entwicklung der Kraftwerke von kleinen Betrieben um 1900 bis zu ihrem gegenwärtigen Stand erkennen. Neben der privaten Kraftversorgung hat die öffentliche Energieerzeugung ihre Werke und Verteilungsanlagen zusammengelegt und vervollkommnet. Diese Konzentration hat zur Förderung der Kraftwirtschaft beigetragen.

3. Die Einrichtung der Anlagen.

Auf Seite 21 wird eine Uebersicht über die technischen Arten der Primärkraftmaschinen gegeben.

Eine entsprechende Aufstellung folgt hier für die Antriebsmaschinen der Eigenanlagen der Industrie im Jahre 1925:

Antrieb durch	Zahl der Betriebe	Nennleistg. 1000 kW	Durchschn. Lstg. kW
Kolbendampfmaschinen	11 918	929,4	78
Dampfturbinen	765	1 613,9	2110
Wasserkraftmaschinen	4 318	251,4	58
Oelmaschinen	1 953	102,2	52
Gasmaschinen	744	382,1	513
Wasserräder, Windmotoren	2 979	13,6	—

Bei den Eigenanlagen der Landwirtschaft wurden im Jahre 1925 die folgenden Antriebsmaschinen verwandt:

Die Arten der Primärkraftmaschinen.

	Betriebe Zahl	Leistung PS	Betriebe Zahl	Leistung PS	Betriebe Zahl	Leistung PS
	1895		1907		1925	
Dampfmaschinen	58 530	2 721 218	73 839	6 714 822	62 477	17 976 767
v. H.	38,9	79,4	40,2	84,6	31,0	80,5
Wasserkraftmaschinen	54 259	629 065	49 925	868 811	48 742	2 034 745
v. H.	36,1	18,4	27,1	11,0	24,2	9,1
Gasmaschinen	14 760	53 909	24 090	187 999	13 316	1 276 099
v. H.	9,9	1,6	13,1	2,5	6,6	5,7
Sonst. Verbr.-Masch.	3 337	10 750	16 066	93 542	62 221	1 035 993
v. H.	2,2	0,3	8,7	1,3	30,9	4,6
Windkraftmaschinen	18 362	—	17 933	—	14 789	30 042
v. H.	12,3	—	9,8	—	7,3	0,1
Heißluftmaschinen	639	1 298	1 048	13 026	—	—
v. H.	0,4	—	0,5	0,3	—	—
Druckluftmaschinen	312	11 085	1 165	95 640	—	—
v. H.	0,2	0,3	0,6	1,3	—	—

Antrieb durch	Zahl der Betriebe	Nennleistung 1000 kW	Durchschn. Lstg. kW
Kolbendampfmaschinen	11 011	165	15,0
Dampfturbinen	3 670	55	15,0
Wasserkraftmaschinen	3 019	26	8,6
Oelmaschinen	41 258	276	6,7
Gasmaschinen	2 019	16	7,9
Wasserräder, Windmotoren	15 702	unbedeutend	—
Primärkraftmaschinen, ges.	71 560	538	7,6
ferner: Elektromotoren	644 748	3 397	0,5

Unter den auf der vorigen Seite aufgeführten Primärkraftmaschinen waren 1925:

	Betriebe		Leistung	
	Zahl	v. H.	PS	v. H.
von den Dampfmaschinen				
Kolbendampfmasch.	57 026	28,3	8 269 258	37,1
Dampfturbinen	5 451	2,7	9 707 509	43,4
von den Wasserkraftmaschinen				
Wasserräder	32 606	16,2	182 440	0,8
Wasserturbinen	16 136	8,0	1 852 305	8,3

Die folgenden Zahlen zeigen den Anteil der verschiedenen Energiequellen an der Stromerzeugung der öffentlichen Elektrizitätswerke.

	Gesamt	Erzeugt aus							
	10^6	Steinkohle		Braunkohle		Wasser		Oel	
	kWh	10^6 kWh	v. H.	10^6 kWh	v. H.	kWh	v. H.	kWh	v. H.
1913	2900	1835,7	63,3	667	23	336,4	11,6	60,9	2,1
1922	7200	3477,6	48,4	2966	41	698,4	9,5	57,6	0,9
1925	11720	4850	41,3	4800	41	1850	15,8	82	0,7

Die Arten der Antriebsmaschinen der öffentlichen Kraftwerke.

	Dampfmasch.	Wasserkrmasch.	Verbrenngs.-kraftmasch.	Dampfmasch. u. Wasserkrm.	Gemischt. Antrieb	zus.
1895	80	44	5	11	8	148
1900	382	74	29	144	21	651
1905	630	125	132	219	62	1168
1909	790	196	326	386	244	1942
1913	935	478	531	510	955	3409
1924	576	662	359	213	329	2139
			in Hundertteilen:			
1895	54,1	20,8	3,4	16,3	5,4	100
1900	58,7	11,4	4,5	22,1	3,3	100
1905	54,0	10,7	11,3	18,7	5,3	100
1909	40,7	10,1	16,8	19,9	12,5	100
1924	26,9	31,0	16,8	9,9	15,4	100

Wie die obenstehenden Angaben zeigen, hat die Dampfmaschine die führende Stellung unter den Kraftmaschinen behalten, die sie am Ende des vorigen Jahrhunderts innehatte. Während sie aber noch um 1900 fast die einzige zur Erzeugung namhafter Leistungen geeignete Kraftmaschine war, sind im ersten Viertel des zwanzigsten

Die Arten der öffentlichen und privaten Primärkraftmaschinen.

	1895		1907		1925	
	PS	v. H.	PS	v. H.	PS	v. H.
Oeffentliche Elektrizitätsversorgung:						
Primärmasch. gesamt	61 108	100	979 649	100	6 776 336	100
davon Dampfmasch.	54 790	90	870 413	89	5 621 890	83
Wasserkraftm.	4 604	8	72 229	7	941 635	14
Verbrennungsm.	1 714	3	37 007	4	212 811	3
Private Energiebewirtschaftung:						
Primärmasch. gesamt	3 353 758	100	6 885 464	100	14 805 120	100
davon Dampfmasch.	2 666 416	80	5 844 409	85	11 976 632	81
Wasserkraftm.	624 461	19	796 582	12	1 052 199	7
Verbrennungsm	62 881	2	244 473	4	1 776 289	12

Jahrhunderts leistungsfähige andere Kraftmaschinenarten mit ihr in Wettbewerb getreten. Diese neuartigen Energiequellen haben schon etwa im Jahre 1902, in der Zeit der Gründung der Ueberlandzentralen, das bisherige Ansteigen des Dampfmaschinenanteils an der gesamten Krafterzeugung aufgehalten. Seit dieser Zeit ist ein Rückgang der Verwendung der Dampfmaschinen zu beobachten. Besonders nach dem Kriege gab die Kohlennot in Deutschland Veranlassung, bei der Krafterzeugung andere als die kohlenverbrauchenden Maschinenarten zu bevorzugen und sich daher mehr als bisher von der Dampfmaschine abzuwenden. Die Kolbenmaschine, die um 1900 ausschließlich in Anwendung war, ist bei der Erzeugung großer Leistungen, besonders in Elektrizitätswerken, von der Dampfturbine abgelöst worden. Die technischen Fortschritte begünstigen aber auch wieder die Kolbenmaschine, so daß auch sie sich neben der Turbine bis zur Gegenwart behaupten konnte.

Die Wasserkraftmaschine, die in der Form von Wasserrädern schon seit alter Zeit zur Energieerzeugung benutzt worden ist, hat zu Anfang dieses Jahrhunderts in Gestalt moderner Wasserturbinen erneute Bedeutung erlangt. Bis etwa 1902 ist die Zahl dieser Maschinen zurückgegangen. Seit dieser Zeit nahm ihre Verwendung mit dem Ausbau der öffentlichen Kraftversorgung ständig zu.

Da die Wasserkraftmaschinen für die Erzeugung großer Kraftmengen geeignet und an Plätze mit günstigen Wasserverhältnissen gebunden sind, sind die Möglichkeiten ihrer Verwendung für kleinere Selbstversorgerbetriebe beschränkt. Der Ausbau der vorhandenen Wasserkräfte für die öffentliche Energieerzeugung wurde besonders energisch nach dem Kriege in Angriff genommen, so daß 1924 die Zahl der öffentlichen Wasserkraftwerke die der Dampfkraftwerke übertraf.

Auch die Verbrennungsmaschine hat in der deutschen Kraftwirtschaft in ständig wachsendem Umfang Eingang gefunden. Da mit Hilfe der Motoren in betriebstechni-

scher Hinsicht verschiedene Vorteile vor anderen Maschinenarten erzielt werden konnten, blieb dieser Maschinenart ein Anteil an der Krafterzeugung auch in öffentlichen Werken und für große Leistungen ständig gesichert. In die privaten Betriebe sind die Verbrennungskraftmaschinen in ihren verschiedenen konstruktiven Formen in der zweiten Hälfte der Berichtszeit in riesigen Mengen eingezogen. Zahlreiche kleine Gewerbebetriebe führten die betriebssicheren Motoren geringerer Leistung an Stelle veralteter Dampf- oder Wassermotoren ein, und für größeren Leistungsbedarf bot sich in der im Kriege entwickelten schnellaufenden Dieselmaschine eine unabhängige billige Kraftquelle. Besonders starke Aufnahme fanden die Motoren in der Landwirtschaft, wo die Verbrennungsmaschine die am häufigsten verwandte Antriebsmaschine nach dem Elektromotor geworden ist. Die besondere Bedeutung, die die Motoren als Fahrzeugmaschinen, u. a. für Schiffe und Kraftwagen, erlangt haben, wird erst bei der Behandlung des Verbrauchs der erzeugten Energie erklärt werden.

Die gleichzeitige Verwendung von Dampf- und Wasserkraftmaschinen ist ähnlich der des reinen Dampfantriebs allmählich zurückgegangen, vermutlich da der Dampfantrieb die Wasserkraft in den meisten Fällen überwiegt.

Wie wir sahen, haben sich bei der öffentlichen Krafterzeugung neben den Dampfmaschinen die Wasserkraftanlagen und in geringerem Maße auch die Motoren als Antriebsmaschinen eingeführt. Die Möglichkeit der Auswahl unter diesen verschiedenen Kraftmaschinen bietet Gelegenheit, jeden der in Deutschland vorhandenen Rohstoffe, Stein- und Braunkohle, Wasser, Gas und Oel, an seiner Quelle mit hohem Wirkungsgrad zur Krafterzeugung auszunützen und die Art der Erzeugung den Bedürfnissen der Kraftverbraucher weitgehend anzupassen.

In den privaten Betrieben stand besonders durch die Einführung der Verbrennungsmaschine in ihren vielseitigen Formen eine zweckmäßige Antriebskraft für Arbeitsmaschinen aller Art zur Verfügung, so daß trotz des mächtigen Vordringens des Elektromotors die Unabhängigkeit von der Elektrizitätsversorgung nötigenfalls erhalten werden konnte. Die Statistik zeigt, daß sich seit Beginn des

Der Anteil der Stromarten der öffentlichen Elektrizitätswerke.

	Anzahl der Werke	Gleichstrom kW	Wechsel- u. Drehstrom, kW	Drehstrom kW
1895	148	30 468	6 866	961
1900	651	123 712	57 250	49 098
1905	1 168	316 018	128 484	181 368
1909	1 942	362 577	206 596	592 436
1913	3 409	307 529	863 186	945 651

Jahrhunderts neue Kraftmaschinenarten durchgesetzt haben, die durch ihre Zweckmäßigkeit zu einer Erweiterung der allgemeinen Anwendung der Maschinenkraft beitrugen.

Die Veränderung der Stromarten, die für die öffentlichen Werke bis zum Jahre 1913 zusammengestellt sind, erstrecken sich hauptsächlich auf den Rückgang der Gleichstromanlagen und die Zunahme der Wechsel- und Drehstrombetriebe. Entsprechend dem Ausbau der Ueberlandzentralen und der Notwendigkeit der Erhöhung der Uebertragungsspannung wurde die Leistung der Gleichstrombetriebe schon im Jahre 1906 durch die der Drehstromanlagen überflügelt. 1913 waren die Gleichstrombetriebe nur noch mit 15,1 v. H., die reinen Wechsel- und Drehstrombetriebe mit 45,5 v. H. an der Leistungsfähigkeit der öffentlichen Elektrizitätswerke beteiligt, während der Rest von 39,4 v. H. auf die gemischten Betriebe entfiel, die sowohl Gleichstrom als auch Wechselstrom erzeugten.

B. Auf dem Gebiete der Energieverteilung:

1. Elektrische Kraftnetze.

Wie wir gesehen haben, ist es im Verlauf der Entwicklung der Kraftwirtschaft gelungen, die Leistungen der Maschinen zur Erzeugung der Energie ständig zu vergrößern, und schließlich riesige Energiemengen an wirtschaftlich günstig arbeitenden Kraftmaschinen zur Verfügung zu stellen. Nur dort, wo eine unmittelbare Verwendung der erzeugten Kraft zum Antrieb von Arbeitsmaschinen erfolgte, konnten diese Energien ohne weiteres verbraucht werden. Zur Ausnützung des größeren Teils der verfügbaren Kraftmenge war es erforderlich, Einrichtungen zur Kraftübertragung zu schaffen, die es ermöglichten, die verstreut liegenden Verbraucher zu versorgen und besonders den vielen Stellen mit geringem Kraftbedarf einen bequemen und billigen Bezug von Energie zu verschaffen.

Nachdem für das Kleingewerbe lange Zeit die Lokomobile und später der Gasmotor als geeignete Antriebsmaschinen benutzt worden waren, begann in den 90er Jahren langsam der unaufhaltsame Einzug der Elektrizität. Zunächst wurde die Verteilung des in den Stadtzentralen erzeugten Stroms nur für Beleuchtungszwecke verwandt. Erst die Uebertragung bedeutender Strommengen auf größere Entfernungen mit erträglichen Verlusten ergab die Möglichkeit, die elektrische Energie auch zum Antrieb von Maschinen zu verwenden. Nachdem 1882 die Uebertragung von Gleichstrom von 2000 Volt

über 57 km in München gelungen war, erfolgte 1891 die Fortleitung von 300 PS Drehstrom von 25000 Volt Spannung über 175 km von Lauffen zur Frankfurter Ausstellung. Als man von der Gleichstrommaschine mit Kolbenmaschinenantrieb auf die Verwendung von Drehstromgeneratoren mit Turbinenantrieb übergegangen war, wurde die Erzeugung höherer Spannungen ermöglicht, mit denen das Problem der Kraftübertragung auf größere Entfernungen gelöst werden konnte. Das Ereignis auf der Frankfurter Ausstellung war der Auftakt für die allgemeine Einführung der elektrischen Kraftübertragung. Nun begann der Bau zahlreicher Ueberlandzentralen, zuerst in Oberschlesien und im Rheinland. Die einzelnen Länder errichteten Landeselektrizitätswerke, die die Energiequellen des Landes mit staatlicher Genehmigung ausnützten. Bei der Verteilung des durch sie erzeugten Stroms wurden nicht nur die Industriegebiete bevorzugt, sondern gleichmäßig das ganze Land versorgt. Bayern, Baden und Sachsen entschlossen sich zuerst zur Anlage eines Landes-Stromverteilungsnetzes. Im Westen Deutschlands wurde dann in Abhängigkeit von der Steinkohle eine große zentrale Stromerzeugung geschaffen. In der Folgezeit förderten die Elektrounternehmer, besonders A. E. G. und S. S. W., als Geldgeber den Bau von Kraftwerken. Die von den Großfirmen gebauten Werke wurden selbständigen Gesellschaften zur Betriebsführung übergeben. Die Uebertragungsspannung wuchs ständig. 1912 wurde die erste europäische Anlage mit Drehstrom von 100000 Volt in Lauchhammer versuchsweise in Betrieb genommen. Gleichzeitig nahm die Wirtschaftlichkeit der Kraftwerke zu, so daß nach Einführung guter Motoren der Absatz verbilligten Kraftstroms wuchs.

Gesamtwert der elektrischen Zentralen im Reich in kW.

	1895	1900	1905	1911
Gleichstrom	35 166	123 712	316 018	352 964
Wechsel-, Drehstrom	8 864	57 250	128 484	461 387
gemischte Systeme	2 543	49 098	181 368	652 067

Entwicklung der Anschlußwerte in kW.

	1897	1900	1906	1913
Beleuchtung	64 022	156 230	489 485	1 343 814
Motoren (+ Bahn)	19 628	95 731	340 054	2 060 495
Heiz- u. Kochapp.	—	—	—	82 842
	73 650	251 961	829 539	3 487 151

Infolge der Fortschritte der Hochspannungstechnik konnte der Strom auf höchste Spannungen gebracht und dann über weite Strecken fortgeleitet werden, ohne über-

mäßige Verluste zu erleiden. Die Landesgrenzen wurden durch die Stromversorgung überbrückt und eine einheitliche Verteilungsanlage für das Reich begründet, die auf einem weitverzweigten Uebertragungsnetz unter Verwendung verschiedener Spannungen beruhte, das aus vielen an den Rohstoffquellen erbauten Kraftwerken gespeist wird, aber durch Ringleitungen Ausfälle einzelner Kraftquellen durch Umschaltungen ausgleichen kann. Allerdings ist der Plan völliger Vereinheitlichung der Krafterzeugung und -verteilung im ganzen Reich auch in verwaltungstechnischer Hinsicht an den Interessen der einzelnen Länder gescheitert, die den staatlichen Einfluß zur Wirkung brachten. So beschloß Sachsen 1916 das staatliche Elektrizitätsmonopol und gründete den Landeselektrizitätsrat. In Preußen erwarben die öffentlichen Körperschaften die Aktienmehrheiten von bedeutenden Elektrounternehmen. Bayern hat gemischtwirtschaftliche Unternehmen für die Krafterzeugung, während in Baden staatliche Wasserkraftwerke betrieben werden. Das im Dezember 1919 von der Nationalversammlung beschlossene Gesetz betreffend „Sozialisierung der Elektrizitätswirtschaft" blieb, wie oben erwähnt, ohne Folgen. Am Ende der Berichtszeit betrug die Gesamtlänge aller Kraftübertragungsleitungen mit mehr als 30 kV Uebertragungsspannung im Deutschen Reich 18 998,7 km. Das Gewicht der gesamten Leitungen betrug 27 684,9 t, von denen 39,5 % in den Hochspannungsleitungen von 100 kV und mehr verlegt war. Ein Maßstab für das Ansteigen der übertragenen Leistungen ist die Zunahme der Querschnitte der Leistungen: Während noch 1906 keine einzige Leitung mehr als 50 mm² Querschnitt hatte, betrug der größte Querschnitt 1917 70 mm², und seitdem wurden 2409 km Leitungen mit 95 mm² Querschnitt, 4174 km mit 120 mm² Querschnitt, 1668 km mit 150 mm² Querschnitt und 360 km mit 200 mm² Querschnitt und mehr verlegt. 1926 waren die Leitungen im Deutschen Reich wie folgt auf die Spannungen verteilt: 1100 km mit 30 kV, 410 km mit 35 kV, 2171 km mit 40 kV, 242 km mit 45 kV, 3341 km mit 50 kV, 598 km mit 55 kV, 3635 km mit 60 kV und 7501 km mit über 100 kV.

Der Einfluß der Fernversorgung mit Elektrizität wirkte dezentralisierend auf die Industrien, da örtliche Bindungen an Energiequellen nicht mehr vorhanden waren. Der Bezug von Fernstrom vom Großkraftwerk mit großer Betriebssicherheit machte die Erhaltung eigener Kraftanlagen für kleinere Unternehmungen überflüssig, so daß an Stelle neuer Kraftwerksbauten oder -erweiterungen Stromlieferungsverträge mit Großkraftwerken abgeschlossen wurden.

Auch kommunale Kraftwerke schlossen sich den Großkraftwerken als Fremdstrombezieher an.

Einen Ueberblick über den Stand der Stromversorgung im Jahre 1928 gibt die folgende Zusammenstellung.

Zahl und Leistungsfähigkeit der Betriebe nach Größenklassen geordnet.

Größenklasse der Erzeugungseinheiten nach kW	Zahl der Betriebe		Leistungsfähigk. der Anlagen in 1000 kW	
	Oeffentl.	Eigenanlag.	Oeffent.	Eigenanl.
1— 50	246	2018	8	48
51— 100	611	2052	16	79
101— 1000	611	2052	211	641
1001— 5000	171	460	377	1050
5001— 10000	47	126	327	807
10001—100000	132	93	4014	1958
über 100000	7	2	1344	222
Gesamt:	1417	5800	6297	4805

Die Zahl der Kraftwerke hat sich seit 1928 noch weiter zu Gunsten der Großkraftwerke verschoben. Die Entwicklung des Strombedarfs hat einen jährlichen Zuwachs von 10 bis 20 v. H. ergeben. Im Jahre 1930 wurde ein Elektrizitätsversorgungsplan für ganz Deutschland veröffentlicht, der im Auftrage des Reichswirtschaftsministeriums von O. von Miller aufgestellt war. Als Grundlage dieses Planes wurde eine genaue Schätzung des Stromverbrauchs für 1935 vorgenommen. Es ergab sich für dieses Jahr ein Leistungsbedarf von $8\,^1/_2$ Mill. kW bei einem jährlichen Verbrauch von 34 Milliarden kWh. Als Verbindung zwischen Energieverbraucher und Erzeuger wurde eine Ringleitung für 220000 Volt und ein Hauptverteilungsnetz für 100000 Volt vorgeschlagen. Wenn auch durch die Folgen der Wirtschaftskrise die Zunahme des Kraftbedarfs gehemmt wurde und eine Erweiterung des Stromverteilungsnetzes nicht in dem geschätzten Umfang erforderlich sein wird, so wird bei eintretendem Bedarf, z. B. weiterer Elektrisierung der Bahnen, der Ausbau der Stromversorgung doch nach einheitlichen Gesichtspunkten für das ganze Reichsgebiet erfolgen müssen.

2. Sonstige Energieverteilungsnetze.

Bevor die Uebertragung der elektrischen Energie ermöglicht worden war, hatte man Versuche auf verschiedenen anderen Wegen unternommen, die durch eine Kraftmaschine erzeugte Energie an entfernten Stellen ausnützen zu können. Zuerst übertrug man die Kraft durch Gestänge, Seile oder Ketten. In Schaffhausen war eine Anlage zur Verteilung von etwa 600 PS an einzelne Abnehmer mit zahlreichen Seilkünsten in Betrieb. Später wurden Druckwasserleitungen zur Energiefortleitung verwandt. Das durch

Hochpumpen oder in anderer Weise unter Druck gesetzte Wasser wurde durch die Rohrleitungen verteilt und gab seine Energie an die Arbeitsmaschinen, wie Hafenkrane, Schmiedepressen usw. ab. Als beste Form der Kraftübertragung galt lange Zeit das Druckluftsystem. Pneumatische Kraftübertragungseinrichtungen haben sich bis heute für Getreideförderung, Rohrpost, Luftdruckbremse usw. erhalten. Jede kraftwirtschaftliche Bedeutung haben diese Einrichtungen aber seit der Einführung der elektrischen Uebertragung verloren. In einzelnen besonders geeigneten Fällen haben sich die Dampfnetze, hauptsächlich in Verbindung mit Fernheizwerken, bis heute als besondere Energieübertragungsformen behauptet. Nur in vereinzelten Fällen wird der fortgeleitete Dampf zum Antrieb von Kraftmaschinen verwandt. In der Regel wird die in Kraftwerken verfügbare Abfallenergie an anderer Stelle für Heizzwecke nutzbar gemacht. Das älteste deutsche Fernheizwerk wurde 1901 in Dresden erbaut. Es folgte das städtische Kraft- und Heizwerk Leipzig-Nord, die Werke in Hamburg, Berlin, Braunschweig, Schwerin. Auch innerhalb verschiedener größerer Industrieanlagen sind Dampfleitungen zur Kraft- und Wärmeübertragung in Benutzung. Die Uebertragung und Verteilung der Energie kann auch in der Form bewerkstelligt werden, daß die Brennstoffe, mit denen Kraftmaschinen gespeist oder Wärmeerzeugungsanlagen versorgt werden, zur Verteilung kommen. Schon im vorigen Jahrhundert wurde das Leuchtgas in städtischen Rohrleitungsnetzen den verschiedenen Verbrauchern zugeführt, die das Gas zu Beleuchtungszwecken und in Gasmaschinen verwandten. Etwa vom Jahre 1920 ab hat das Gas in verstärktem Maße den Wettbewerb um die Fernwärme- und Kraftversorgung mit der Elektrizität aufgenommen. Im Jahre 1925 wurde eine gemischte Gas- und Elektrizitätsanlage für 100 Tages-Tonnen Gaskoks Verbrauch in Frankfurt a. M. in Bau genommen, bei der mit Generatorgas gespeiste Verbrennungsmaschinen neben Dampfturbinen arbeiten, die aus der Abwärme der Gasmaschinen anfallenden Niederdruckdampf verwenden und Abdampf an das Gaswerk zurückliefern.

Obwohl die Gasversorgung umfangreicher Gebiete in der Nachbarschaft der Industriezentren in wirtschaftlich nutzbringender Weise für Erzeuger und Verbraucher arbeitet, ist für die Zwecke der Kraftübertragung ein Wettbewerb des Gases mit der Elektrizität nicht möglich. Geplante Ferngasnetze für das ganze Reichsgebiet ähnlich den elektrischen Kraftnetzen sind nicht zur Ausführung gelangt.

Unter den Einrichtungen zur Fortleitung der Energie in der Form von Brennstoff haben in den Ländern, die

Oelquellen besitzen, die Oelleitungen Bedeutung erlangt. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, das Oel in Rohrleitungen Hunderte von Kilometern weit zu Verbrauchs-, Verarbeitungs- oder Verladestellen fortzuleiten. Nachdem auch in Deutschland die Ausbeute der wenigen vorhandenen Erdölquellen gesteigert worden war, wurde auch hier die Anlage von Fernleitungen für Oel ins Auge gefaßt. Infolge der Unsicherheit der Oelversorgung wegen der verhältnismäßig geringen Ausbeute und der Produktionsschwankungen der deutschen Quellen wurden diese Pläne bisher nicht ausgeführt. Die überwiegende Menge des in der deutschen Krafterzeugung erforderlichen Oels wird in Tankdampfern von Uebersee eingeführt und von den Tanklagern aus nach den Verbrauchszentren verteilt. Der Bedarf an Oelen, zu denen Rohöl, Gasöl, Benzine, Oelgemische, Leuchtöl, Schmieröl usw. gerechnet werden, ist mit der Entwicklung der Verbrennungsmaschinen in den letzten Jahrzehnten gewaltig gestiegen. Die umfangreichen Verteilungsorganisationen für Kraftwagen- und Flugzeugbenzin haben zahlreiche Zapfstellen im ganzen Reich aufgestellt.

3. Einrichtungen zum Energieausgleich.

Als wirksame Hilfsmittel zur Verbesserung der Ausnutzungsfähigkeit der Kraftanlagen und zur Verbilligung der Krafterzeugung wurden in größerem Umfange nach dem Kriege Energiespeicheranlagen verschiedener Art in Betrieb genommen. Diese Einrichtungen geben die Möglichkeit, Kraftmaschinenbetriebsstoff oder erzeugte Energie einige Zeit aufzuspeichern, so daß ein Ausgleich der Schwankungen und Spitzen des Energiebedarfs der Verbraucher erzielt werden kann und die Leistungsfähigkeit des Kraftwerks nicht der höchsten Verbrauchsspitze zu entsprechen braucht. Ferner können die erwähnten Anlagen in gewissem Umfange zur Notversorgung bei Störungen dienen. Die Dampfspeicheranlagen, sowohl Gleichdruck- als auch Gefällspeicher, wurden erst in den letzten Jahren der Berichtszeit entwickelt. Die Speicherung der elektrischen Energie in Großbatterien hat besonders in der ersten Zeit der elektrischen Kraftversorgung eine große Rolle gespielt. In den letzten Teil der Entwicklung der Kraftversorgung fällt auch die Anlage der Wasserspeicherwerke mit großem Speicherinhalt, obgleich die Anstauung geringerer Wassermengen zu ähnlichen Zwecken schon in den frühesten Zeiten der Wasserkrafterzeugung vorgenommen wurde.

C. Auf dem Gebiete des Energieverbrauchs.

1. Arbeitskraft.

Der Ausbau der Krafterzeugung in Deutschland wurde veranlaßt durch die Entwicklung des Bedarfs an Energie. Da meist ein Wettbewerb zwischen verschiedenen Kraftquellen bestand, erfolgte die Auswahl nach dem Preis der Energie und den zu ihrer Benutzung aufzuwendenden Anlagekosten. Nachdem die elektrische Energie die Vorrangstellung für viele Anwendungsgebiete errungen hatte, entstand vielfach Besorgnis darüber, daß die Monopolstellung öffentlicher Elektrizitätserzeugungsstellen sich zum Schaden der Verbraucher auswirken werde. Da bis heute noch ein großer Teil der verbrauchten Energie durch Eigenerzeugung beschafft wird, sind zum mindesten für industrielle Betriebe Gefahren dieser Art nicht eingetreten.

Die Feststellung der in den Betrieben verwendeten Maschinenkraft bereitet namentlich bei kleineren Gewerbetreibenden Schwierigkeiten. Bei den Erhebungen bestand die Frage, ob die Angabe der im regelmäßigen Betrieb verwandten Kraftleistung das Maß der Beanspruchung der Motoren oder deren Leistungsfähigkeit erfassen solle. Die Zählung 1907 war in diesem Sinne beabsichtigt, 1925 wurde die gesamte Nennleistung und die regelmäßige Beanspruchung erfragt. Ferner bestanden, wie schon oben erwähnt, 1895 und 1907 Unklarheiten in der Unterscheidung zwischen primären und sekundären Motoren, je nachdem Betriebskraft erzeugt oder schon vorhandene umgewandelt wird. 1925 erst erfolgte eine klare Unterscheidung. Endlich dürfte die Vollständigkeit der Auskünfte nicht überall vorhanden sein, da in manchen Betrieben die Höhe des Energieverbrauchs als Geschäftsgeheimnis betrachtet wird und nicht genau angegeben sein mag.

Einen Ueberblick über die Entwicklung der Verwendung der Maschinenkraft in einigen Zweigen von Industrie und Handwerk gibt die folgende Zusammenstellung.

Zunahme der verwendeten PS von Primärmaschinen und Elektromotoren in v. H.

Gewerbegruppe	1907 gegen 1895	1925 gegen 1907
Maschinenindustrie	695	322
Chemische Industrie	231	346
Textilindustrie	170	57
Papierindustrie	202	129
Lederindustrie	256	182
Holzindustrie	196	172
Nahrungs- und Genußmittelgewerbe	164	69
Bekleidungsgewerbe	200	231
Baugewerbe	342	203

Diese Zahlen zeigen sehr deutlich die Zunahme der Mechanisierung und den Aufstieg der Kraftwirtschaft in

der genannten Zeit. Die Zunahme der Energieverwendung war teils Folge, teils Voraussetzung für die Entwicklung der gesamten deutschen Technik, die erst durch den Krieg aufgehalten wurde und nach dem Krieg wieder fortzuschreiten begann. Als Vergleich diene die Eisenerzeugung.

Roheisenerzeugung im Deutschen Reich in 1000 t.

1895	5 465	1910	14 793
1900	8 521	1915	11 790
1905	10 988	1920	7 043
		1924	7 190

Während dieser ganzen Entwicklung gehörte die Maschinenindustrie zu den bedeutendsten Abnehmern der Kraftwirtschaft. Nachdem in der Zeit von 1900 bis zum Kriegsbeginn Werkzeugmaschinen für die verschiedensten Zwecke des Maschinenbaus ausgebildet und in Benutzung genommen worden waren, wurden nach dem Krieg beim Neuaufbau der Produktionswirtschaft neue Arbeitsmethoden eingeführt, die zum Teil nach amerikanischem Vorbild auf Fließarbeit und Massenabsatz eingestellt wurden. Die Notwendigkeit scharfer Rationalisierung verlangte eine weitere Zunahme der Mechanisierung. Alle Bestrebungen erforderten einen verstärkten Einsatz von Arbeitsmaschinen mit Maschinenantrieb. Der deutsche Maschinenbau hat sich seit 1895 zum zahlenmäßig stärksten und wichtigsten Zweig der eisenverarbeitenden Industrie entwickelt. 74 v. H. seiner Produkte wurden 1925 im Inland verwandt.

Die Entwicklung des Maschinen-, Kessel- und Apparatebaus.

Jahr	Betriebe	PS
1895	10 519	87 277
1907	14 206	381 710
1925	23 388	1 007 780

Entwicklung einzelner Zweige des Maschinenbaus, ausgedrückt in der Zahl der beschäftigten Personen.

Jahr	Kraftmasch.-bau	Bau landw. Maschinen	Pumpen- u. Kompressorenbau
1895	33 064	22 952	
1907	66 303	37 391	19 939
1925	107 527	60 322	90 376

Anteil der Maschinenarten am Maschinenbau 1925.

Kraftmaschinenbau	13,9 v. H. der beschäftigten Personen
davon: Lok.- u. Lok.-Kessel	4,1 v. H.
Schiffsmaschinen	2,6 v. H.
Sonst. Dampfmasch.	1,7 v. H.
Verbr.-Masch.	4,7 v. H.
Sonst. Kraftmasch.	0,8 v. H.
Werkzeugmaschinenbau	12,7 v. H.
Masch. f. chem. u. Nahrgsm.-Ind.	7,4 v. H.
Textilmaschinenbau	7,7 v. H.
Landmaschinenbau	7,7 v. H.
Kessel- u. Apparatebau	14,7 v. H.

Der Kraftbedarf für Krane und Hebezeuge ist in der Berichtszeit erheblich gewachsen. Als Beispiel diene:

Die Steinkohlenförderung im Deutschen Reich ohne Elsaß-Lothringen in 1000 t.

1895	78 179	1910	150 142
1900	108 153	1915	144 907
1905	119 475	1920	131 347
		1922	129 965

Der Güterverkehr auf den deutschen Binnenwasserstraßen betrug im Jahre 1913 etwa 10,3 Mill. t und etwa 21,5 Mill. tkm, von denen fast ein Drittel zwischen Schiff und Eisenbahn in der einen oder anderen Richtung umgeladen werden mußte.

Güterverkehr in deutschen Binnenhäfen.

	1895	1913
Hamburg	3580	12 633
Berlin	5134	8 160
Ruhrort	9071	28 914
Mannheim	3280	7 397

Steigerung des Schiffsverkehrs in den Seehäfen.

	1898		1907	
	Schiffe	1000 Reg.-To.	Schiffe	1000 Reg.-To
Hamburg	7990	6667	10 427	10 889
Bremen	2494	2051	2 906	3 463

Auch zur Hebung und Förderung von Flüssigkeiten wurden in den verschiedensten Gewerben große Energiemengen verbraucht. Wir betrachten als wichtigstes Anwendungsgebiet die Wasserversorgung. Der Wettstreit der verschiedenen Antriebsmaschinen blieb hier bisher völlig unentschieden. Da man bei den Wasserwerken besonderen Wert auf Unabhängigkeit der Maschinen legte, damit bei Fernleitungsstörungen, Streiks usw. keine Ausfälle zu befürchten sind, haben Verbrennungsmaschinen, besonders der Dieselmotor, in verschiedenen Ausführungen wegen ihrer steten Betriebsbereitschaft, Rauch- und Geräuschlosigkeit und geringen Platzbedarfs häufig Verwendung gefunden.

Wasserversorgung von Groß-Berlin.

Jahr	Wasser pro Jahr Mill. cbm	Wasser pro Einwohner und Tag, Ltr.
1903	88,0	126
1913	145,3	158
1925	174,0	200

Wasserversorgung rheinischer Städte über 100 000 Einwohner.

Jahr	Wasser pro Jahr Mill. cbm	Wasser pro Einwohner und Tag, Ltr.
1900	106,8	143
1910	162,9	160
1920	227,4	195

Wasserversorgung rheinischer Städte von 30 000 bis 100 000 Einwohner.

Jahr	Wasser pro Jahr Mill. cbm	Wasser pro Einwohner und Tag, Ltr.
1900	22,0	104
1910	37,0	119
1920	54,3	151

Wasserversorgung rheinischer Städte unter 30 000 Einwohner.

Jahr	Wasser pro Jahr Mill. cbm	Wasser pro Einwohner und Tag, Ltr.
1900	2,8	51
1910	6,1	80
1920	10,6	126

Die starke Zunahme des Wasserbedarfs besonders in den Großstädten wurde vielfach durch die Zunahme der öffentlichen und privaten Badeeinrichtungen und ferner durch die vermehrte Anlage von Grünflächen und Gartenanlagen verursacht, die im Sommer ausgiebig besprengt werden müssen.

Trotz großer Widerstände infolge außergewöhnlicher technischer Anforderungen und sogar infolge einer gewissen Abneigung der Benutzer selbst ist es in den Jahrzehnten der Technisierung gelungen, die Kraftmaschine auch in landwirtschaftliche Betriebe einzuführen.

Kraftmaschinen in der Landwirtschaft 1925.

	Ant. mech. Betr. a. d. Gesamtz., v. H.	Zahl	Gesamt-Leistung der Maschinen	Durchschn.-Leistung der Maschinen
Dampfkraftm.	0,3	16 436	218 828 PS	13,3 PS
Verbrennungsm.	0,7	37 525	223 745 PS	6,0 PS
Elektromotoren	12,6	746 810	2 500 234 kW	3,3 kW

Im Jahre 1929 waren in Deutschland 14 411 Traktoren in Betrieb, d. h. bei einer Durchschnittsleistung von 25 PS rund 360 000 PS. Der Anteil dieser Leistung an dem Gesamtbedarf an Zugkraft in den landwirtschaftlichen Betrieben ist noch sehr gering, und wenn man als Anzeichen für den Uebergang zur industriellen Form der Gütererzeugung den Ersatz der tierischen durch die mechanische Antriebskraft ansieht, so ist der überwiegende Teil der deutschen Landwirtschaft noch bei handwerklichen Formen stehen geblieben. Immerhin hat die Motorisierung besonders in den Großbetrieben erhebliche Produktionssteigerungen und Qualitätsverbesserungen der Produkte bewirkt. Selbst von den nur für größte Getreideproduktionsbetriebe bestimmten Maschinen, den Mähdreschern, waren 1931 16 Aggregate in Deutschland vorhanden. An die Elektrizitätsversorgung waren 1926 schon etwa 90 v.H. der größeren landwirtschaftlichen Betriebe mit schätzungsweise 1 Milliarde kWh angeschlossen.

Die Verwendung von Maschinenkraft in der deutschen Textilindustrie wird in folgender Zusammenstellung nachgewiesen:

	Betriebe	Personen	Primärkraftm. PS	Elektromotor. PS
1907	125 429	1 016 035	816 686	96 305
1925	122 598	1 196 120	572 811	706 257

Die Anwendung motorischer Kraft in der chemischen Industrie im Deutschen Reich zeigen folgende Zahlen:

	Betriebe	Personen	Primärkraftm. PS	Elektromotor. PS
1907	7 285	196 560	212 727	72 651
1925	8 732	314 323	264 362	684 051

Die obigen Angaben zeigten die gewaltige Zunahme der Verwendung von Elektromotoren in Betrieben aller Gewerbe. Der gesamte jährliche Stromverbrauch der einzelnen deutschen Landesteile im Jahre 1925 ist in der folgenden Tafel angegeben.

Jährlicher Stromverbrauch und erforderliche Leistung 1925.

	Einwohner	Jährl. Stromverbrauch 1925 i. ganzen 1000 kWh	je Einwohner kWh	erforderl. Leistung, kW
Rechtsrheinisches Bayern	6 500 000	610 000	95	320 000
Märkisches Gebiet	3 000 000	1 750 000	127	660 000
Sachsen-Thüringen	10 800 000			
Berlin	4 100 000	650 000	158	270 000
Wesergebiet	3 800 000	407 400	107	131 196
Nordwestdeutsches Gebiet	3 300 000	241 900	73	79 106
Pommern	2 000 000	150 000	75	65 745
Ostpreußen	2 300 000	64 000	28	32 700
Schlesien	4 600 000	517 928	115	175 000
Rheinland-Westfalen	14 000 000	3 000 000	214	800 000
Baden-Rheinpfalz	3 300 000	567 000	170	142 800
Württemberg	2 600 000	360 000	140	137 650
Hamburg-Schleswig-Holstein	2 700 000	310 000	115	130 000
	63 000 000	8 628 228	137	2 944 197
Uebertragsverluste		371 772		405 803
Gesamtverbrauch bzw. Leistungssumme		9 000 000		3 350 000
Erforderliche Gesamtleistung in den Kraftwerken unter Berücksichtigung des Ausgleichs				3 200 000

Die bedeutungsvolle Verschiebung der Elektrizitätsverwendung seit den 90er Jahren hat folgenden Umfang:

1895 Verbrauch d. Elektriz. z. Beleuchtg. 86 v. H., als Kraftqu. 14 v. H.
1909 Verbrauch d. Elektriz. z. Beleuchtg. 49 v. H., als Kraftqu. 51 v. H.

Die Zahl der mit Elektrizität versorgten deutschen Orte ist ständig gewachsen. Sie betrug:

1906	2 160
1911	10 450
1914	19 450
1920	31 500
1924	42 000 = etwa 67 v. H. aller Orte

Die statistischen Erhebungen über die Energiebedarfsentwicklung im Deutschen Reich sind bisher auch auf dem Gebiete der Elektrizitätsversorgung unvollkommen geblieben. Trotzdem werden in den folgenden Tafeln einige Zahlenreihen gegeben, aus denen die Zunahme des Strombedarfs zu erkennen ist. Während die Einwohnerzahl der deutschen Großstädte von 1900 bis 1924 um 83 v. H. gestiegen ist, hat sich die Leistung der für die großstädtische Stromversorgung installierten Generatoren um nahezu 750 v. H. erhöht. Die Zunahme des Anschlußwertes betrug sogar 1725 v. H. und die der angeschlossenen Zähler mehr als 2700 v. H. Der Anschlußwert je 1000 Einwohner ist um 900 v. H. gestiegen, die Zahl der angeschlossenen Zähler um rund 1500 v. H. Der Anteil des Anschlußwertes für öffentliche Beleuchtung und Bahnen ist in der betrachteten Zeit erheblich zurückgegangen, der für Privatabnehmer seit 1910 wieder gestiegen. Auch die Stromabnahme für öffentliche Beleuchtung und für Bahnbetrieb ist im Gegensatz zu der für Privatzwecke gesunken.

Als Beispiel für den Strombedarf einzelner deutscher Gebiete sei der des Rheinlandes angeführt:

Die Stromversorgung der deutschen Großstädte 1900 bis 1924.

Wirtschaftsjahr	Einwohnerzahl d. Versorg.-Gebietes in Millionen	Gesamte Leistung der Stromerzeuger 1000 kW	Gesamte Leistung der Akkumulatoren 1000 kW	Gesamte Leistung der Werke 1000 kW	Gesamte Stromerzeugung Mill. kWh	Gesamte Stromabgabe i. Netz Mill. kWh	Nutzbar abgegebene Energie Mill. kWh	Gesamter Anschlußwert 1000 kW	Zahl der angeschlossen. Zähler in 1000
1900	9,198	151,2	31,7	182,9	—	—	—	175,0	57,1
1905	12,234	297,6	50,6	348,2	—	—	—	485,1	138,5
1910	13,775	525,1	95,9	620,9	728,1	728,1	728,1	1 227,9	304,2
1915	14,653	885,9	104,9	990,7	1 514,9	1 307,9	1 307,9	—	781,9
1920	15,800	990,0	65,4	1 061,4	1 457,8	1 913,4	1 564,6	—	1 318,2
1924	16,805	1 282,2	69,2	1 351,4	1 756,0	2 643,4	2 197,3	3 193,8	1 600,0

Verhältniszahlen.

Wirtschaftsjahr	Auf 1 Einwohner entfallen ins Netz abgegebene kWh	Auf 1 Einwohner entfallen nutzbar abgegebene kWh	Auf 1000 Einwohner entfallen Anschlußwert kW	Auf 1000 Einwohner entfallen Zähler	Auf 1 kW Masch. Leistg. entfallen erzeugt. kWh
1900	—	—	19	6	—
1905	—	—	39	15	—
1910	52,8	—	89	23	1386
1915	103,3	89,3	—	56	1709
1920	121,1	99,0	—	82	1473
1924	157,3	130,7	190	95	1039

Der Anschlußwert der Verbrauchergruppen.

Wirtschaftsjahr	für öffentliche Beleuchtung kW	v. H.	für Bahnen kW	v. H.	insgesamt kW	v. H.	für Private, davon für Licht kW	v. H.	für Kraft kW	v. H.	für Wiederverkäufer kW	v. H.	Angeschloss. Glühlampen	Angeschloss. Bogenlampen
1900	14 661	8,4	—	—	160 306	91,6	83 915	47,9	73 691	43,7	—	—	1 678 312	39 322
1905	47 327	9,7	—	—	437 743	90,3	196 903	40,6	240 840	49,7	—	—	3 938 070	94 653
1910	67 900	5,5	264 270	21,5	895 747	73,0	371 396	30,4	524 351	42,6	—	—	7 408 232	147 135
1924	8 248	0,3	268 292	8,4	2 848 721	89,2	—	—	—	—	68 539	2,1	—	—

Die Stromabgabe an die Verbrauchergruppen.

Wirtschaftsjahr	für öffentliche Beleuchtung 1000 kWh	v. H.	für Bahnen 1000 kWh	v. H.	insgesamt 1000 kWh	v. H.	Für Private, davon für Licht 1000 kWh	v. H.	f. Kraft u. n. Einhtst. 1000 kWh	v. H.	für Wiederverkäufer 1000 kWh	v. H.
1915	15 763	1,3	310 552	24,2	947 373	74,5	182 585	14,3	749 203	58,9	15 585	1,3
1920	20 000	1,3	278 302	18,6	1 195 058	80,1	239 124	16,0	598 162	40,1	357 772	24,0
1924	25 238	1,0	352 772	14,0	2 141 632	85,0	—	1 866 372	—	73,9	275 260	11,1

	Einwohnerzahl	Nutzbare Stromabgabe in 1000 kWh	in kWh/Einwohner
1900	1 431 298	14 966	10,2
1905	1 873 365	56 134	29,9
1910	2 181 000	130 403	59,8
1915	2 680 000	263 551	98,3
1920	2 682 000	338 439	126,6

An den oben angeführten statistischen Angaben ist die gewaltige Zunahme des Bedarfs an elektrischer Energie seit der Jahrhundertwende ersichtlich. Während die elektrische Beleuchtung allmählich große Verbreitung erlangte, ist der Elektromotor an die erste Stelle der Antriebsmittel für Arbeitsmaschinen und Werkzeuge aller Art getreten. Ein Ueberblick über die vielseitige Verwendung der elektrischen Energie wird im dritten Abschnitt gegeben werden.

Trotz den erwähnten Fortschritten ist der spezifische Elektrizitätsverbrauch, d. h. der Verbrauch an elektrischer Energie je Jahr, auf den Kopf der Bevölkerung gerechnet, in Deutschland wesentlich kleiner als in anderen Ländern von ähnlicher Kulturstufe. Als Ursache für diese Erscheinung sind in erster Linie die Folgen des Krieges anzusehen. Es ist daher anzunehmen, daß in normalen Zeiten eine weitere Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs in Deutschland sich einstellen wird.

2. Fahrkraft.

Der maschinelle Antrieb von Fahrzeugen zu Lande, zu Wasser und in der Luft entspricht menschlichen Bedürfnissen, die sich schon besonders früh in der Geschichte geregt haben. Die Einführung der Eisenbahnen und Kraftfahrzeuge, der Dampfschiffe und Luftfahrzeuge hat mehr als die Benutzung ortsfester Arbeitsmaschinen das allgemeine Interesse des ganzen Volkes erweckt. Wenn auch bei den ersten Fahrten neuer Verkehrsmittel vielfach eine Zurückhaltung der breiten Massen beobachtet wurde, so wuchsen doch rasch Vertrauen und Zuneigung zu den neuen Einrichtungen, sodaß sich technische Fortschritte auf dem Gebiete der Beförderungsmittel rasch durchsetzen konnten.

Die maschinell angetriebenen Fahrzeuge enthalten mit Ausnahme der elektrischen Bahnen als Antriebsmittel Primärkraftmaschinen mit unmittelbarem Antrieb der Arbeitseinrichtung, der Räder des Fahrgestells. Die Behandlung dieser Maschinen in den Abschnitten über den Verbrauch der Energie hat seinen Grund darin, daß die Maschinen der Fahrzeuge besonders weitgehend den durch sie angetriebenen Einrichtungen angepaßt und so mit ihnen zusammengebaut sind, daß der Verbrauch der erzeugten Energie

ohne Zwischenschaltung besonderer Arbeitsmaschinen unmittelbar beim Betrieb der Fahrzeuge erfolgt.

Eines der wenigen technischen Gebiete, auf denen die Anwendung der Maschinenkraft schon in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts einen bedeutenden Umfang angenommen hatte und zu einer gewissen Vollkommenheit gelangt war, ist das Eisenbahnwesen. Zur Zugförderung diente damals fast ausschließlich die Dampflokomotive. Nachdem schon im Jahre 1835 die erste deutsche Dampfeisenbahn in Betrieb genommen war, überzog man in wenigen Jahrzehnten das ganze Reichsgebiet mit einem dichten Netz von Eisenbahnen und erzielte dadurch einen gewaltigen Aufschwung der allgemeinen Verkehrsverhältnisse.

Länge der in Betrieb befindlichen Eisenbahnlinien in Deutschland.

	in km
1895	46 413
1905	56 477
1913	63 730
1920	58 041

Personenbeförderung auf vollspurigen deutschen Eisenbahnen:

	Mill. Personenkilometer
1905	25 632
1910	35 419
1913	42 210

Güterbeförderung auf vollspurigen deutschen Eisenbahnen:

	Mill. Tonnenkilometer
1905	44 567
1910	56 276
1913	67 515

Ueber die Lokomotiven der vollspurigen deutschen Eisenbahnen liegen folgende Angaben vor:

	Zahl der Lok.	Leistung am Zughaken gesamt PS	je Lok. PS
1914	25 266	13 015 780	515
1920	29 992	18 272 026	609
1929	23 860	18 575 440	779

Der gesamte Energieverbrauch der Dampflokomotiven betrug 1929 4550 Mill. kWh. Die elektrischen Lokomotiven der Deutschen Reichsbahn im Jahre 1929, 388 Stück, hatten eine Gesamtleistung von 475000 kW, die 849 Triebwagen im gleichen Jahre eine solche von 245000 kW. Der gesamte Energieverbrauch für elektrische Zugförderung betrug 1929 600 Mill. kWh.

Nachdem 1890 die erste elektrische Straßenbahn in Halle (Saale) in Betrieb genommen war, folgten bald alle

anderen Großstädte diesem Beispiel. Auf besonders verkehrsreichen Strecken begann ferner der Bau elektrischer Schnell- und Ueberlandbahnen. Die Schwebebahn Vohwinkel-Wuppertal besteht seit 1899. 1906 wurde die Rheinuferbahn zwischen Bonn und Köln, die von den beteiligten Kreisen erbaut war, in Betrieb genommen. Es folgten die ersten städtischen Untergrundbahnstrecken in Berlin und Hamburg. 1920 bis 1929 führte die Deutsche Reichsbahn die Elektrisierung der Berliner Stadt- und Ringbahn nach den neuesten technischen Gesichtspunkten durch. Endlich verdient die Eröffnung der größten deutschen Bergbahn, der Zugspitzbahn, im Sommer 1926 Erwähnung.

Geradezu als Ausdruck des modernen Lebens hat sich das Kraftfahrzeug in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts eingeführt. Die Verwendung der motorischen Kraft in Kraftwagen und Motorrad ist keinem modernen Menschen unbekannt. Nur schwer können wir uns vorstellen, daß keines dieser Fahrzeuge um das Jahr 1900 auf den Landstraßen und in den Städten verkehrte.

Die im Jahr 1929 in Deutschland vorhandenen 609 030 Kraftwagen entwickelten bei 20 PS Durchschnittsleistung rund 12 Mill. PS.

Produktion der deutschen Kraftfahrzeugindustrie.

	1913, Stück	1925, Stück
Motorräder	5 104	104 002
Personenwagen	12 400	39 080
Lastwagen	1 851	10 304
Motoren für Motorräder	564	8 662
Motoren für Kraftwagen	1 182	2 464
Gesamtwert der Erzeugung einschl. Rep.-Arbeiten, Mill. RM	214,3	771,3

Die Maschinenkraft, die die Geschwindigkeit der Landfahrzeuge auf ein Vielfaches der bisherigen erhöhen konnte und den Verkehr über Land auf eine neuzeitliche Stufe erhob, befähigte auch die Schiffahrt auf der hohen See, an den Küsten und auf den Flüssen, in weitgehender Unabhängigkeit von Wetter und Wind einen planmäßigen und schnellen Verkehr einzurichten. Erst das Schiff mit Maschinenantrieb, der Dampfer, begründete die jetzigen engen Beziehungen der Kontingente zueinander und diente somit in hervorragendem Maße der Förderung der menschlichen Kultur.

Die Angaben auf der folgenden Seite zeigen, daß schon in den 80er und 90er Jahren die Kraftmaschine als Schiffsantrieb allgemeinen Eingang fand. Die weitere Entwicklung der deutschen Handelsflotte erlitt, wie bekannt, einen schweren Rückschlag infolge der Auslieferung der Schiffe bei Schluß des Krieges.

Auch der Entwicklung der Kriegswaffen hat das Zeitalter der Maschinenkraft eine neue Richtung gegeben. Den

stärksten Gebrauch von den Möglichkeiten der Energieerzeugung hat die Marine gemacht, indem sie die Seestreitkräfte mit gewaltigen Hauptmaschinen für den Schiffsantrieb und mit zahlreichen Hilfsmaschinen zum Antrieb von Waffen und sonstigen Einrichtungen an Bord ausrüstete. Fahrzeuge für besondere Zwecke der Seekrieg-

Seegehende Dampf- und Motorschiffe.

Bestand a. 1. Jan.	1871	1891	1901	1911	1914	1926
Zahl der Schiffe	147	896	1 390	1 973	2 170	1 987
dav.: Raddampfschiffe	—	—	—	—	38	24
Schraubendampfsch.	—	—	—	—	2 107	1 845
Motorschiffe	—	—	—	—	25	118
Brutto-Raumgehalt, Reg.-To.	—	—	2 185 890	3 949 759	4 694 190	2 897 076
Maschinenleistung, PS	—	—	—	—	2 765 744	1 752 322

Binnenschiffe mit eigner Triebkraft.

Bestand am 31. Dezember	1907	1912	1925
Zahl der Schiffe	3 312	4 491	3 820
davon: Dampfschiffe	2 571	2 988	2 855
Motorschiffe	691	1 376	873
Tragfähigkeit in 1000 t	188,8	261,1	300,8
Maschinenleistung, PS	485 900	612 100	657 500

führung, wie U-Boote, wurden unter weitgehender Verwendung von Kraftmaschinen ausgebildet und besonders im Kriege bedeutend vervollkommnet. Die Armee stellte Kraftfahrzeuge, motorisierte Geschütze, Kampfwagen und zahllose durch Maschinenkraft versorgte Einrichtungen in ihren Dienst, die die Kriegführung grundlegend umgestalteten. Die eindrucksvollsten Schöpfungen der Technik des 20. Jahrhunderts sind Flugzeug und Luftschiff. Der alte Wunsch der Menschheit, in der Luft zu fliegen, hat endlich mit Hilfe der Motorenkraft verwirklicht werden können. Trotz den Beschränkungen infolge des Kriegsausganges, die die Flugzeugverwendung hinderten, hat sich der deutsche Luftverkehr, wenn auch mit Unterstützung des Staates, in wenigen Jahren zu einer zweckmäßigen Einrichtung entwickelt.

3. Heizung und Beleuchtung.

Wie wir oben gezeigt haben, beschränkte sich die Verwendung des elektrischen Stroms in der ersten Zeit der Entwicklung ausschließlich auf die Beleuchtung. Auch nach Ausbau der Kraftübertragung über große Entfernungen benutzte man die übertragene elektrische Kraft zunächst nur zur Speisung von Bogenlampen und Glühlampen. Später wurde neben der Kraftausnützung der Elektrizität die Anwendung des Stromes zu Beleuchtungszwecken durch die Erfindung neuartiger Glühkörper weitgehend vervollkommnet. Die Anwendung des Stromes für

Heiz- und Kochzwecke hat ständig zugenommen. An verschiedenen Orten wurden industrielle Anlagen und Wohnungen errichtet, die den elektrischen Strom als einzige Energiequelle für Kraft-, Licht- und Wärmeversorgung benutzten. Das Gas, das, wie oben besprochen, für Beleuchtungszwecke schon seit dem vorigen Jahrhundert allgemein verwandt wird, hat in den letzten Jahrzehnten auch zum Zwecke der Wärmeerzeugung in Industrie und Haushalt Eingang gefunden. Wegen seiner sauberen und bequemen Anwendungsmöglichkeit verdrängte das Gas trotz seines höheren Preises vielfach die Kohle und fand zunehmende Verwendung für Industrieöfen aller Art, für Groß- und Haushaltküchen, für Badeöfen und als Raumheizung.

III. Die Ursachen der Veränderungen: Die technische Entwicklung.

Die mächtige Entfaltung der deutschen Kraftwirtschaft, die sich in der verhältnismäßig kurzen Zeit eines Vierteljahrhunderts aus den einfachen und beschränkten Verhältnissen der 90er Jahre auf den modernen Stand erhob, beruht auf den gewaltigen technischen Fortschritten, die im Verlauf der betrachteten Zeit gemacht worden sind. Die Anwendungen der neuen naturwissenschaftlichen Erkenntnisse in der Technik des Maschinenbaus gaben die Veranlassung zur Errichtung der neuzeitlichen Anlagen für die Zwecke der Energiewirtschaft.

A. Die Gewinnung der Rohstoffe für die Energieerzeugung.

Die Bereitstellung von Energiemengen zum Antrieb von Arbeitsmaschinen oder zur Speisung von wärmeverbrauchenden Einrichtungen, die sich in unseren Kraftwerken vollzieht, ist eine wärmetechnisch-chemische Veränderung der Energie aus einer gebundenen in eine beweglichere und daher höherwertige Form. Unter den ursprünglichen Kraftquellen, die die Rohstoffe der Kraftmaschinen bilden, sind die festen Brennstoffe für Deutschland seit jeher von überwiegender Bedeutung gewesen.

1. Feste Brennstoffe.

Die innerhalb der Grenzen des Reichs liegenden festen Brennstoffe, die durch Zersetzung von Pflanzen unter Sauerstoffmangel entstanden, sind Steinkohle, Braunkohle und Torf.

Etwa 95 v. H. des Wertes aller Energievorkommen Deutschlands stellen die Vorräte an Steinkohle dar. Die zahlreichen Kohlenflöze unserer Steinkohlenreviere entstanden zur Carbonzeit aus Baumfarnen und baumartigen Bärlappgewächsen durch mehrmalige Kohlenbildung an der gleichen Stelle. Nach geologischen Ermittlungen sind innerhalb des Deutschen Reichs folgende Steinkohlenvorräte vorhanden:

In der Tiefe von 0 bis 1000 m 143 Milliarden Tonnen
In der Tiefe von 0 bis 1200 m 183 Milliarden Tonnen
In der Tiefe von 0 bis 1500 m 232 Milliarden Tonnen
In der Tiefe von 0 bis 2000 m 305 Milliarden Tonnen

Die Angaben enthalten die abbauwürdigen sicheren Vorräte und die wahrscheinlichen Vorräte bis zu 30 cm Flözstärke. Die zur Zeit nutzbaren Vorräte in 0 bis 1200 m Tiefe verteilen sich wie folgt auf die verschiedenen Bezirke:

Gebiet	Sichere Vorräte Mill. To.	Wahrscheinl. Vorräte Mill. To.	Summe Mill. To.
Linksrheinisch	10 458	—	10 458
rechtsrhein.-westfäl.	39 481	26 078	65 559
oberschlesisch	10 325	96 417	106 742
niederschlesisch	707	839	1 546
Sachsen	225	—	225
kleinere Bezirke	247	—	247
	61 443	123 334	184 777

Die Hauptmengen der deutschen Steinkohlenschätze liegen im Ruhrgebiet und in Oberschlesien. Von den oberschlesischen Lagern ist erst ein kleiner Teil festgestellt und in Abbau genommen. Der Heizwert der Steinkohle schwankt von 5500 bis 8500 kcal/kg. Wird als mittlerer untere Heizwert 6600 kcal/kg angenommen, so beträgt der gesamte Heizwert der deutschen Steinkohlenlager $305 \cdot 10^{12} \cdot 6600 = 20\,130 \cdot 10^{14}$ kcal. Wenn man 305 Milliarden Tonnen Steinkohlenvorrat zu Grunde legt und die ungünstige Annahme macht, daß die Steinkohlenförderung ständig linear zunimmt, berechnet man die Lebensdauer der deutschen Vorräte auf etwa 1000 Jahre.

Die Steinkohle bildete während der ganzen Entwicklungszeit die wichtigste Rohstoffquelle für die Krafterzeugung. Eine Aenderung dieser Verhältnisse ist auch in der nächsten Zukunft nicht zu erwarten.

1919 wurden 3,191 Milliarden kWh = 52 v. H. der gesamten Stromerzeugung von 6,137 Milliarden kWh in den Elektrizitätswerken Deutschlands aus Steinkohle gewonnen. Für die Krafterzeugung wird aber nur ein geringer Anteil des gesamten Kohleverbrauchs verwendet. 1924 entsprach die Gesamterzeugung der öffentlichen Elektrizitätswerke nur 6,9 v. H. der Steinkohlenförderung.

Verteilung des deutschen Inlandverbrauchs an Steinkohle in Millionen Tonnen.

	1913	1922
Kokereien	44,0	36,0
Industrie	45,7	24,0
Eisenbahnen	17,4	15,5
Elektrizitätswerke	5,5	12,5
Gaswerke	10,0	10,0
Hausbrand	17,0	9,0
Brikettfabriken	6,6	5,5
Schiffahrt	9,3	4,0
Landwirtschaft	7,5	2,0
	163,0	118,5

Der Kohlenverbrauch auf den Kopf der Bevölkerung ist seit 1913 in Deutschland wie in der ganzen Welt gesunken. Diese Erscheinung ist durch die Vermehrung der Elektrizitätserzeugung aus Wasserkraft, durch den Wettbewerb des Erdöls und auch durch die Verbesserung der Feuerungsmethoden verursacht. Von den verschiedenen deutschen Steinkohlensorten eignet sich für Kesselfeuerungen zur Krafterzeugung in gewerblichen Großbetrieben am besten die sogenannte Eßkohle mit 85—90 v. H. C und etwa 7500 kcal/kg Heizwert. Der Brennstoffpreis wird durch die Transportkosten erheblich beeinflußt.

Die gesamte in Deutschland vorhandene Braunkohlenmenge beträgt 13,4 Milliarden Tonnen. Die nutzbaren Braunkohlenvorräte verteilen sich wie folgt auf die verschiedenen Bezirke:

Gebiet	Sichere Vorräte Mill. To.	Wahrscheinl. Vorräte Mill. To.	Summe Mill. To.
Linksrheinisches Gebiet	3800	3 525	7 325
Westerwaldgebiet	178	—	178
Hessen-Nassau	97	142	239
Rheinprovinz	—	4	4
Hannover	25	5	30
Brandenburg	650	—	650
Pommern	650	—	650
Provinz Sachsen	1 193	—	1 193
Westpreußen	1	—	1
Hessen	170	99	269
Bayern	75	294	369
Sachsen	3 000	—	3 000
	9 285	4 069	13 354

Die wichtigsten deutschen Braunkohlenlagerstätten finden sich am Niederrhein, im thüringisch-sächsischen Gebiet und in der Lausitz. Die Braunkohlen stammen aus der Tertiärzeit und sind aus zypressenähnlichen Nadelhölzern und aus Laubbäumen entstanden. Da die etwa 20 bis 30 m mächtigen Flöze von einer wenig umfangreichen Gebirgsschicht bedeckt sind, werden die Braunkohlen im Tagebau gewonnen, der verhältnismäßig wenig Abbauverluste und Kosten verursacht.

Der Heizwert der Rohbraunkohle schwankt von 1500 bis 3500 kcal/kg. Der Wassergehalt beträgt bis zu 45 v. H. Die in Kleingewerbe und Haushalt verwendeten handlichen Braunkohlenbriketts, die durch Pressen getrockneter Rohkohle entstehen, haben einen Heizwert bis zu 5000 kcal/kg. Wenn im Durchschnitt ein unterer Heizwert von 2100 kcal/kg angenommen wird, so ergibt sich als Gesamt-Heizwert der Braunkohlenvorräte $13345 \cdot 10^{12} \cdot 2100 = 281 \cdot 10^{14}$ kcal. Die deutsche Braunkohlenförderung betrug 1919 93,9 Mill. Tonnen. Sie überholte 1922 die Steinkohlenförderung. Die Lebensdauer der Braunkohlenvorräte ergibt sich, wenn sie nach ähnlichen Gesichtspunkten wie die der Steinkohlenlager geschätzt wird, zu nur 90 Jahren. Für den Fall stark zunehmenden Abbaus würden also die Braunkohlenvorräte in weiterer Zukunft erheblich abnehmen. 1919 wurden 2,33 Milliarden kWh = 38 v. H. der gesamten Stromerzeugung der deutschen Elektrizitätswerke aus Braunkohlen gewonnen. Der Anteil des Verbrauchs der Braunkohle zur Krafterzeugung betrug aber nur wenige Hundertteile. Die Verwendung der Braunkohle als Rohstoff für die Krafterzeugung hat im zweiten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts bedeutend zugenommen. Ihre Ueberlegenheit der Steinkohle gegenüber beruht auf ihrem geringen Preis infolge der niedrigen Gestehungskosten.

	Ruhr-Steinkohle	Braunkohle
1913: Preis für 1 Tonne	12,— RM	2,20 RM
Preis für 10 000 kcal	1,76 Pf.	0,96 Pf.
1924: Preis für 1 Tonne	18,18 RM	3,21 RM
Preis für 10 000 kcal	2,68 Pf.	1,40 Pf.

Der Torf ist ein Gemenge von Ueberresten zersetzter abgestorbener Pflanzen, denen mineralische Bestandteile zugeführt sind. Etwa 2 Millionen ha des Deutschen Reiches sind mit Torfmooren bedeckt. Wenn man annimmt, daß zur Torfgewinnung nur die Hochmoore ausnutzbar sind, d. h. solche Moore, deren Wasserspiegel über dem Wasserspiegel der Umgebung liegt, und die leicht entwässert werden können, so ergeben sich etwa 200 000 ha als nutzbare Moorfläche. 1 cbm Rohtorf ergibt etwa 170 kg lufttrockenen Torf. Die verwendungsfähige Schwarztorfschicht, die unter der für Brennzwecke weniger geeigneten Oberschicht abbaufähiger Moore lagert, hat eine Mächtigkeit von durchschnittlich 2,50 m. Unter diesen Voraussetzungen ergibt 1 qm Moorfläche 4,25 Tonnen lufttrockenen Torf. Demnach errechnet sich aus der nutzbaren Moorfläche von 200 000 ha der verfügbare Torfvorrat Deutschlands zu $200000 \cdot 4{,}25 = 850$ Millionen Tonnen = 0,85 Milliarden Tonnen lufttrockenen Torf. Wenn es gelänge, einen größeren Teil der Torfmoore, als angenommen, auszunützen, würde der Gesamtertrag auf 2 bis 5 Mil-

liarden Tonnen gesteigert werden können. So berechnet Rißmüller einen Torfvorrat von 2,85 Milliarden Tonnen. Der Heizwert des Torfs schwankt von 2000 bis 4500 kcal/kg. Mit einem durchschnittlichen unteren Heizwert von 3000 kcal/kg ergibt sich als Gesamt-Heizwert der Vorräte $0{,}85 \cdot 3000 \cdot 10^{12} = 25{,}5 \cdot 10^{14}$ kcal. Die ausgedehntesten Torfmoore liegen in der norddeutschen Tiefebene, in der Eifel, im Harz und in Oberbayern. Zur Verwendung in Kraftwerken kommt nur mit Maschinen gewonnener Torf, sogenannter Maschinentorf, in Betracht, da von Hand gestochenes Material teuer und minderwertig ist. Der Torf wird durch Eimerbagger auf Geleisen oder Raupen bis zu 7 m tief gefördert, in der Formmaschine vermischt, in Stücke, sogenannte Soden, geschnitten und auf das Feld zum Trocknen abgelegt. Ein Bagger fördert mit einer Antriebsleistung von 40 PS in 10stündiger Tagesarbeit mit 5 Mann Bedienung 6000 cbm Rohtorf, entsprechend 63 Tonnen Trockentorf. Der trockne Torf darf keinen Frost bekommen, da er beim Wiederauftauen zerfällt. Man ist bestrebt, die Maschinenleistung erheblich zu erhöhen. Die Soden (Abmessungen in frischem Zustand 8 : 10 : 25 cm) werden bei gutem Wetter nach 3 bis 8 Tagen gewendet und nach weiteren 8 Tagen zu Haufen geschichtet. Die ganze Trocknung dauert 5 bis 8 Wochen. Es sind Versuche unternommen worden, die Trocknung schnell und billig zu bewirken, ein vollständig befriedigendes Verfahren hat sich noch nicht ergeben. Der trockne Torf ist zur Energieerzeugung durch Verfeuerung auf Treppenrosten unter Kesseln gut geeignet. Das Kraftwerk Wiesmoor, Bezirk Aurich, mit 19000 kW installierter Maschinenleistung wird mit hauptsächlicher Verwendung von Torf als Brennstoff betrieben. Die Errichtung weiterer Torfkraftwerke und eine Vergrößerung der Leistungsfähigkeit von Wiesmoor begegnet erheblichen Schwierigkeiten bei der Rohstoffbeschaffung Die Aufschlußarbeiten des Moores dauern 3 Jahre und gestatten nicht eine rasche Verstärkung der Torflieferung bei steigendem Bedarf. Das kostspielige Trocknen großer Torfmengen und die Notwendigkeit der Lagerung von Wintervorräten wegen der unvermeidlichen Unterbrechung der Torfgewinnung während der Wintermonate beeinträchtigen die Wirtschaftlichkeit. Die Größe von Torfkraftwerken ist durch die Ausdehnung der betreffenden abbaufähigen Moorflächen beschränkt. Die Torfgewinnung konnte auch mit dem Brennstoffbedarf des Kraftwerks Wiesmoor nicht Schritt halten. Seit 1913 mußte ein Teil des Bedarfs durch Kohle gedeckt werden. Voraussetzung für die Rentabilität der Torfkraftwerke ist möglichst weitgehende Verringerung der Transportkosten des Brennstoffs. 1 Tonne kostet frei Verwendungsstelle im Moor etwa RM 6,—, d. i.

1,7 Pf./10000 kcal gegen 2 Pf. bei Steinkohle. Der Brennstoffverbrauch des Werks Wiesmoor beträgt 3,5 kg Torf/kWh. Durch Vergasung des Torfs in Generatoren und Verwendung des Gases in Gasmaschinen konnte bei normalen Verhältnissen eine wirtschaftliche Ueberlegenheit gegen Dampfturbinenbetrieb mit Torfkesseln nicht erzielt werden. Die Moorausnutzung, deren Hauptzweck die Nutzbarmachung von Oedland für landwirtschaftliche Zwecke unter gewinnbringender Verwendung der anfallenden Produkte ist, muß sich daher auf die Torfverwendung in mittleren und kleineren Kraftwerken oder für Feuerungszwecke beschränken.

Das Holz, der ursprüngliche feste Brennstoff, aus dem die übrigen durch Umwandlung hervorgegangen sind, und der mit einem Heizwert von durchschnittlich 3500 kcal kg verschiedentlich zu Feuerungszwecken Verwendung findet, wird in Deutschland für die Krafterzeugung in nennenswerter Menge nicht angewandt.

Die künstlichen Brennstoffe werden aus den natürlichen zum Zwecke der Veredlung umgewandelt. Die Preßkohlen oder Briketts sind durch Trocknung, Verdichtung und Formgebung aufgearbeitete Kohle. Bei der Herstellung der Steinkohlenbriketts wird eine Mischung aus Kohle mit etwa 8 v. H. Steinkohlenpech in Formen gepreßt. Die Briketts haben gegenüber der Steinkohle den Vorzug eines gleichmäßigen hochwertigen Brennstoffs. Ihr Heizwert beträgt 7400 bis 8600 kcal/kg. Auch das Braunkohlenbrikett mit einem Heizwert von 4000 kcal/kg ist ein hochwertiges, gut zum Transport geeignetes Produkt, zu dessen Herstellung ein erheblicher Teil der Braunkohlenförderung verwandt wird. Der Steinkohlenkoks wird entweder in Zechenkokereien als Hauptprodukt hergestellt, der Zechen- oder Hüttenkoks, oder als Nebenprodukt in den Leuchtgasfabriken als Gaskoks mit geringem Kohlenstoffgehalt. Der Heizwert von bestem westfälischem Hüttenkoks beträgt 7300 kcal/kg, der von durchschnittlichem Gaskoks 6700 kcal/kg.

Die Versorgung der Energieerzeuger mit festen Brennstoffen ist seit Beginn der Berichtszeit stets ohne außergewöhnliche Schwierigkeiten gesichert gewesen. Von den Steinkohlenvorräten gingen nach dem Kriege 25,8 v. H. für Deutschland verloren. Als die Steinkohlenförderung während der Ruhrbesetzung 1923 auf den Stand von 1887 zurückging, mußte eine Einschränkung der Versorgung der Kraftwerke erfolgen, die aber nur kurze Zeit dauerte. Im übrigen war der Steinkohlenbergbau stets in der Lage, ausreichende Brennstoffmengen auch bei rascher Steigerung des Bedarfs für die deutsche Kraftwirtschaft zur Verfügung zu stellen. Die Bemühungen schärfster Ratio-

nalisierung nach dem Kriege haben die ausgedehnte Verwendung der Braunkohlen für die Krafterzeugung veranlaßt, während im ersten Jahrzehnt des Jahrhunderts der niedrige Heizwert, der geringe wirtschaftliche Transportradius und technische Schwierigkeiten bei der Verwendung die Nachfrage zurückgehalten hatten. Die Fortschritte der Fördertechnik bewirkten in den Tagebauten der Braunkohle mehr als im Steinkohlenbergbau eine Erhöhung der Förderleistung und Verbilligung des Produktes. Beim Vergleich von Steinkohle mit Braunkohle als Brennstoff für Wärmekraftwerke entsteht die Frage, ob es zweckmäßig ist, das Kraftwerk zwecks Ersparnis der Stromleitungskosten in den Mittelpunkt des Stromverbrauchgebiets zu legen und die Frachtkosten für die Kohle aufzuwenden oder das Kraftwerk an der Grube zu errichten, so daß ein höherer Aufwand für die Fortleitung des Stroms entsteht. Untersuchungen für deutsche Verhältnisse ergeben, daß bei Verwendung von Steinkohlen wegen des verhältnismäßig hohen Wärmeinhalts der Transport der Kohlen zweckmäßig ist, wenn die Benutzungsdauer des Kraftwerks gering bleibt. Mit zunehmender Benutzungsdauer werden die Verhältnisse für den Stromtransport günstiger, da die Uebertragungskosten je kWh mit zunehmender Benutzungsdauer der Fernleitung geringer werden. Etwa bei 8000 h/Jahr Benutzungszeit sind für verschiedene Entfernungen die Kosten für Transport von Strom und Kohlen gleich. Bei Verwendung von Braunkohle ist außer bei geringen Entfernungen (unter 120 km) stets der Stromtransport günstiger, da die Frachtkosten für den Brennstoff, von dem zur Erzeugung einer kWh etwa die 3,5-fache Gewichtsmenge der Steinkohle erforderlich ist, auch bei kleiner Benutzungsdauer überwiegen. Braunkohlenkraftwerke müssen also in den meisten Fällen an der Grube errichtet werden.

2. Flüssige Brennstoffe.

Die überwiegend aus Kohlenwasserstoffen bestehenden flüssigen Brennstoffe werden hauptsächlich aus Erdöl oder Steinkohlenteer, in geringem Umfang auch aus Braunkohlenteer gewonnen. Das Erdöl ist eine dicke, braun oder schwarz gefärbte Flüssigkeit, die durch Bohrlöcher aus der Erde hervorsprudelt oder mit Pumpen herausbefördert wird. Die Teere werden bei der trockenen Destillation der Kohlen abgeschieden. Die Heiz- und Treiböle und das Benzin sind verschiedenartige Fraktionen dieser Rohstoffe, die durch Destillation abgetrennt werden. Der Spiritus wird durch Gärung aus landwirtschaftlichen Produkten, vor allem aus der Kartoffel, in den Brennereien erzeugt. Benzol entsteht hauptsächlich durch Auswaschung aus Kokereigas und Leuchtgas.

Als Heizöle für Oelfeuerungen dienen die schweren Destillate oder Destillationsrückstände, die in Rußland als „Masut", in Rumänien als „Pacura" und in Amerika als „Rohöl" bezeichnet werden. Ihr Heizwert beträgt 8800 bis 9600 kcal/kg. Bei der Verwendung wird das mit Hilfe von Preßluft oder Dampf fein zerstäubte Oel in den Verbrennungsraum gespritzt. Die Oelfeuerungen werden bei ortsfesten Dampfkesseln und bei Anlagen auf Fahrzeugen verwandt. Sie zeichnen sich gegenüber den Feuerungen mit festen Brennstoffen durch leichte Bedienung, durch den Fortfall von Rauch, von Schlacke und Asche und durch gute Ausnutzung der Wärme aus. Auf Fahrzeugen, besonders Schiffen, ist die leichte Unterbringung des flüssigen Brennstoffes in den Vorratsräumen von großer Bedeutung.

Als Treiböl für Dieselmotoren wird rohes Erdöl, Gasöl, Steinkohlen- und Braunkohlenteeröl mit Heizwerten von 9100 bis 10200 kcal/kg verwandt. Die ersten Dieselmaschinen wurden mit Petroleum betrieben. Zahlreiche andere flüssige Kohlenwasserstoffverbindungen pflanzlichen und tierischen Ursprungs, die sich als Treibstoffe für Dieselmaschinen eignen, kommen in Deutschland nicht in Betracht. Als Treibmittel für Verpuffungsmotoren eignen sich die leichten Destillationsfraktionen, die auch bei normalen Lufttemperaturen eine ausreichende Dampfspannung haben, um im Vergaser ein leistungsfähiges Gas-Luft-Gemisch zu erzeugen. Diese Brennstoffe ergeben sich bei der Destillation von Erdöl (etwa 10500 kcal/kg) und Steinkohlenteer (etwa 9600 kcal/kg). Ferner wird Spiritus (Aethylalkohol) mit etwa 6000 kcal/kg verwandt. Die vielseitige Entwicklung der Verpuffungsmotoren und ihre allgemeine Verwendung besonders zum Fahrzeugantrieb verursachte die Herstellung zahlreicher Markenbrennstoffe mit besonderer Eignung für die verschiedenen Maschinentypen. Diese Treibstoffe, wie Autobenzin, Benzol, Gemische usw. werden unter ständiger Ueberwachung ihrer physikalischen Eigenschaften hergestellt und an den Zapfstellen bereit gehalten.

Wie im 2. Abschnitt gezeigt wurde, begann die praktische Verwendung von Gleichdruck- und Verpuffungsmotoren erst nach 1900. Auch die Oelfeuerung wurde in dieser Zeit entwickelt. Während die Benutzung von Verbrennungsmaschinen für Kraftfahrzeuge, Motorboote und Flugzeuge wie für kleinere ortsfeste Kraftanlagen schon in den ersten Jahrzehnten des neuen Jahrhunderts Verbreitung fand, trat der Motor, vor allem die Dieselmaschine, erst nach dem Kriege in den Dienst der Großkrafterzeugung in Großkraftwerken und auf Seeschiffen. Der größte Teil der Motorentreibstoffe mußte bisher aus

dem Ausland bezogen werden. Auch Deutschland besitzt Rohölquellen in der Provinz Hannover bei Celle und Wietze, in Thüringen und Oberbayern. Deutschlands Inlandproduktion konnte aber schon 1913 nur 9 v. H. des eigenen Verbrauchs an Leucht- und Treiböl decken. Durch den Verlust des Elsaß gingen wertvolle Quellen für Deutschland verloren. Die Länder mit den bedeutendsten Rohölquellen sind Rußland (Baku), Nordamerika (Pensylvanien und Kanada), Galizien und Rumänien, ferner Mexiko. Aus diesen Ländern wird nach Deutschland hauptsächlich Halbfabrikat eingeführt, das in deutschen Raffinerien weiter verarbeitet wird. Entsprechend dem stark wachsenden Bedarf sind Tankdampfer für den Ueberseetransport, Tankanlagen in den Seehäfen, Kesselwagen für Eisenbahn- und Kraftwagentransport, Raffinerien und Zapfstellen in großer Menge erstellt worden, so daß die Treibölversorgung gesichert ist, so lange der Bezug des Rohstoffs aus dem Ausland keine Unterbrechung erleidet. Nur die Versorgung mit Benzol, das aus deutschen Kokereien stammt, ist vom Ausland unabhängig.

In den letzten Jahren des betrachteten Zeitabschnitts waren Versuche im Gange, auch Treiböle und Benzin aus deutschen Rohstoffen zu erzeugen. Die Herstellung dieser synthetischen Treibstoffe, die hauptsächlich durch Hydrierung von Kohle bei hohem Druck erzielt wird, hat inzwischen steigende Bedeutung erlangt.

3. Gasförmige Brennstoffe.

Die öffentliche Versorgung mit Gas hat schon vor hundert Jahren begonnen. Nachdem ursprünglich das „Leuchtgas" nur für Beleuchtungszwecke benutzt wurde, diente später das „Stadtgas" in der Gasküche, im Gasbadeofen usw. auch zu Heizzwecken. Schon in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts waren kleinere Gasmaschinen für Antriebszwecke in Gewerbebetrieben erfolgreich verwandt worden. Um die Jahrhundertwende trat das „Kraftgas" als Treibstoff für die erste Großgasmaschine zur Krafterzeugung in den Dienst der Industrie. Der öffentliche Gasverbrauch hat seit dem letzten Viertel des 19. Jahrhunderts bis 1918 ständig zugenommen, er betrug 1912/13 in Deutschland 75 cbm pro Jahr und Einwohner.

Das aus Methan und anderen Kohlenwasserstoffen bestehende Naturgas, das sich durch hohen Heizwert und fast vollkommene Reinheit auszeichnet, entströmt in Oelgebieten der Erde entweder in eigenen Quellen oder als Nebenprodukt aus Petroleumsonden. Dieses natürliche Brenngas kommt innerhalb Deutschlands nur an wenigen Stellen vor. Die größte deutsche Quelle wurde 1910 beim

Bohren nach Wasser in Neuengamme bei Hamburg angeschnitten. Das ausströmende Gas war fast reines Methan und stand unter einem Druck von 24 at. Es wurde durch Rohrleitungen fortgeleitet und für Heizungs- und Beleuchtungszwecke verwertet.

Die in der Technik verwendeten künstlichen Gase werden durch Entgasung in Kokereien und Gasanstalten oder durch Vergasung in Generatorenanlagen gewonnen. Das Kokereigas und das Leuchtgas entstehen in luftdicht abgeschlossenen feuerfesten Kammern durch trockene Destillation der Kohle. Das abziehende Gas wird gekühlt und gereinigt und in Gasometern gespeichert. Im Jahre 1927 wurden in Deutschland bei der Entgasung 32 Mill. t Koks gewonnen. Die Produktion in den Gasanstalten beträgt nur etwa ein Sechstel dieser Menge. Die in der Kriegs- und Nachkriegszeit herrschende Kohlennot machte es erforderlich, die Gaserzeugung unter möglichst sparsamer Verwendung von Kohle durchzuführen. Es wurden daher heizkraftärmere Gase zum Steinkohlengas hinzugemischt. 1918 wurde die Herabsetzung des oberen Heizwertes des Leuchtgases versuchsweise von etwa 5000 auf 4600 kcal beschlossen, 1919 auf 4000 kcal. 1921 wurden die heute noch bestehenden Richtlinien angenommen, nach denen der normale obere Leizwert 4000 bis 4200 kcal beträgt.

Bei der Vergasung werden die festen Brennstoffe einschließlich des Kohlenrückstandes vollständig in gasförmige Brennstoffe übergeführt. Bei der Herstellung des Generator- oder Kraftgases wird Luft mit einem Zusatz von Wasserdampf in Schachtöfen oder Generatoren durch eine Schicht glühenden Kokses oder Kohlen geleitet. Es entweicht ein brennbares Gas, das in der Hauptsache aus Stickstoff, Kohlenoxyd und Wasserstoff besteht. Zur Vergasung werden als Rohstoffe Anthrazit, Hüttenkoks oder Braunkohlenbriketts verwendet. Der Heizwert der Kraftgase beträgt 1200 bis 1300 kcal/cbm. Das Hochofengas (Gichtgas) steht in Hochofenbetrieben in weit größeren Mengen zur Verfügung, als zur Deckung des Kraft- und Wärmebedarfs des Hochofenwerks verbraucht wird. Das Gas ist zwar wärmearm, aber sicher entzündbar und zur Krafterzeugung in Verbrennungsmaschinen geeignet. Die Zusammensetzung des Gases ist bei den verschiedenen Oefen und zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich, sein Heizwert schwankt zwischen 700 und 1000 kcal/cbm. Der große Gasüberschuß der Hochofenwerke, etwa die Hälfte des anfallenden Gichtgases, wird mittels der Großgasmaschinen zur Erzeugung elektrischer Energie verwertet, die zum Teil dem öffentlichen Verbrauch zugeführt wird. Die gasförmigen Brennstoffe haben in der ganzen Zeit der indu-

striellen Entwicklung in besonders reichlichem Maße zur Verfügung gestanden. Besonders die Kokereien mußten stets besorgt sein, das in ihren Betrieben als Nebenprodukt auffallende Gas abzusetzen.

Am Ende des hier betrachteten Zeitabschnittes lieferten die Bergbaubezirke 280 Mill. cbm/Jahr an Städte, das sind etwa 8 v. H. der gesamten Stadtgasmenge. Das Gas wird in starken Leitungen über große Entfernungen den Verbrauchsgebieten zugeführt. Das Problem der Ferngasversorgung wird in dem folgenden Abschnitt über Energieverteilung weiter besprochen werden.

4. Wasser.

Die Gesamtleistung aller Wasserkräfte des Reiches bei voller Ausnutzung ist auf 1,7 Mill. kW geschätzt worden. Unter Annahme einer Benutzungsdauer der mittleren Wasserkraftleistung von 6000 h/Jahr ergibt sich damit eine jährliche Produktion von 10,2 Milliarden kWh. Neuere Schätzungen geben bedeutend höhere Mengen an. Ein Vergleich mit den übrigen Energiequellen des Reiches ergibt einen Anteil der Wasserkraft von 5,4 v. H. Diese Angabe zeigt die gegen die Steinkohle untergeordnete Bedeutung der Wasserkräfte für die deutsche Energiewirtschaft. Auch bei Ausbau aller verfügbaren Wasserkräfte würde sich eine jährlich zu ersparende Steinkohlenmenge ergeben, die den Anteil von 10 v. H. der Gesamtförderung nicht erreichte. Die gesamte installierte Maschinenleistung der Wasserkraft-Elektrizitätswerke des Reiches betrug 1924 1,5 Mill. PS. Die sehr großen Wasserkräfte des Rheins zwischen Basel und Mannheim sind nicht aufgenommen worden, da Deutschland kein freies Verfügungsrecht über sie besitzt. Im Jahre 1919 sind 0,614 Milliarden kWh = 10 v. H. der gesamten Stromerzeugung in den deutschen Elektrizitätswerken durch Wasserkraft beschafft worden. Die Wasserkraftwerke haben in diesem Jahr eine Ersparnis der Steinkohlenförderung von 0,71 v. H. bewirkt. Nach Berechnung von Klingenberg würde das Wasser 1000 Jahre 3,3 v. H. der gesamten Energieerzeugung decken können.

Die Wasserkräfte Deutschlands 1926.

Land	Verfügbar kW	Davon ausgeb. kW	v. H.
Bayern	2 200 000	591 000	26,8
Baden	750 000	47 200	6,3
Württemberg	185 000	70 000	37,8
Preußen und übriges Deutschland	1 865 000	368 000	19,8
	5 000 000	1 076 200	21,5

Die Rentabilität der Wasserkraftwerke wird stark beeinflußt durch die hohen Anlagekosten, so daß sie im

Wettbewerb mit Wärmekraftwerken unterliegen können, obwohl ihr Rohstoff an sich kostenlos zur Verfügung steht und die Ausgaben für die Wartung verhältnismäßig gering sind. Schon gegen Ende des vorigen Jahrhunderts begann in Deutschland der Bau von Talsperren, die zunächst nur zur Hochwasserregulierung und zur Wasserversorgung von Ortschaften dienten. Ein Teil der damals gebauten Talsperren wurde später zur Elektrizitätserzeugung benutzt. Seit dem ersten Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts sind zahlreiche Wasserkraftwerke gebaut worden. Die wesentlichen Nachteile des Wassers für die Energieerzeugung sind die starken Schwankungen, denen die Wassermengen fast aller Flußläufe unterworfen sind, ferner die Beschränkungen bei der Wahl der Lage der Kraftwerke auf Orte mit günstigen Gefälleverhältnissen. Wegen dieser Eigenarten hat das Wasser, das zwar mit Hilfe von Wasserrädern und kleinen Turbinen schon frühzeitig von Selbstversorgern nutzbar gemacht worden war, seine volle Bedeutung als Kraftquelle erst im Zeitalter der Großkraftwerke mit Fernübertragung der Energie und Möglichkeiten zum Ausgleich bei Unterschieden zwischen Angebot und Bedarf erlangt. Den Schwankungen der verfügbaren Wassermengen begegnete man auch durch Anlage großer Staubecken zur Wasserspeicherung, die als Neben- oder Hauptzweck außerdem dem Hochwasserschutz dienten. Weitere Einrichtungen zur Energiespeicherung werden später besprochen werden. Möglichkeiten zur Ausnützung der Wasserkräfte wurden ferner dadurch geschaffen, daß geeignete, auf die Energieerzeugung abgestimmte Industrieanlagen am Orte des Kraftwerks errichtet wurden, z. B. zur Gewinnung von Aluminium und Kalziumkarbid.

Beim Vergleich von Wärme- und Wasserkraftwerken ist trotzdem zu berücksichtigen, daß bei Wärmekraftwerken die Höchstleistung dauernd, lediglich unter Abzug der für Betriebsstörungen und Reparaturen erforderlichen Zeit, die etwa mit 15 v. H. anzusetzen ist, zur Verfügung steht, während bei Wasserkraftwerken an wasserarmen Tagen nur mit einem Teil der Leistung gerechnet werden kann. Erfahrungsgemäß wird daher von Wasserkraftwerken im Durchschnitt nur 75 v. H. der Höchstleistung aufgebracht.

Bei der Beurteilung der Bedeutung der Rohstoffe für die Krafterzeugung ist naturgemäß die geographische Lage der Energiequellen zu betrachten. Während in Oberschlesien und im Ruhrgebiet die Krafterzeugung hauptsächlich auf der Steinkohle und in Mitteldeutschland auf der Braunkohle begründet ist, wird sich das kohlenarme Süddeutschland in erster Linie auf die Nutzbarmachung seiner Wasserkräfte, die mehr als die Hälfte der gesamten deutschen ausmachen, stützen müssen.

Anteil der Rohstoffquellen an der installierten Maschinenleistung in öffentlichen Elektrizitätswerken.

	1910		1916		1920		1924	
	kW	v. H.	kW	v. H.	kW	v. H.	kW	v. H.
Steinkohle	712 215	79,4	1 390 430	61,5	1 679 300	56,0	2 160 000	50,6
Braunkohle	117 755	13,1	725 560	32 1	1 091 500	36,3	1 564 700	36.6
Torf	0	0,0	4 000	0,2	8 900	0,3	12 000	0,3
Oel	3 270	0,3	22 710	1,0	29 900	1,0	59 300	1,4
Wasser	65 020	7,2	117 350	5,3	193 400	6,4	475 000	11,1
	898 290	100,0	2 260 050	100,0	3 003 000	100,0	4 271 000	100,0

Diese Angaben stammen aus den Statistiken der „Vereinigung der Elektrizitätswerke".

Gewinnung und Verbrauch der deutschen Brennstoffe.

	1913		1926	
	Förderg. bzw. Erzeugung	Inlandsverbrauch	Förderg. bzw. Erzeugung	Inlandsverbrauch
Steinkohle (1000 t)	190 109	157 919	145 296	110 025
Braunkohle (1000 t)	87 233	91 680	139 151	141 087
Trockentorf (1000 t)	500	500	3 000	3 000
Brennholz (1000 t)	18 000	18 000	18 000	18 000 [1]
Erdöl (1000 t)	121	1 373	95	793
Erdgas (Mill. cbm)	182		sehr wenig	

[1] 1922.

Die beiden letzten Zahlentafeln gestatten einen zusammenfassenden Ueberblick über die Entwicklung der Rohstoffgewinnung für die deutsche Energieerzeugung. Der bei weitem größte Anteil des Bedarfs wird am Ende wie zu Beginn der betrachteten Zeit durch die festen Brennstoffe gedeckt. Unter ihnen herrschte bis zum Kriege in bedeutendem Maße die Steinkohle vor. Infolge des Verlustes eines Teiles der deutschen Steinkohlengruben und unter dem Zwange größter Sparsamkeit wandte man sich seit dem Ende des zweiten Jahrzehnts immer mehr der reichlich vorhandenen und billigeren Braunkohle zu. Da nach wie vor die Kohle den Rohstoffbedarf der deutschen Kraftwirtschaft zum größten Teil deckte, mußte entsprechend den vorhandenen technischen Möglichkeiten die Dampfkraftmaschine ihre führende Bedeutung behalten. Der Uebergang eines Teiles der Krafterzeugung auf Braunkohlenfeuerung ist, wie oben gezeigt, nicht ohne Einfluß auf die Lage der Kraftwerke und die Anordnung der Einrichtungen zur Kraftverteilung gewesen. Der in verhältnismäßig geringer Menge vorhandene Torf spielt als Rohstoff für die Krafterzeugung nur eine untergeordnete Rolle. Die flüssigen Brennstoffe, die zu Beginn des Jahrhunderts nur vereinzelt zum Antrieb kleiner Maschinen Verwendung fanden, haben in ständig wachsender Menge als Heiz- und Treiböle Eingang zu den Kraftanlagen gefunden, obwohl sie zum großen Teil aus dem Ausland bezogen

werden müssen. Die bedeutenden technischen Vorteile der Ausnützung flüssiger Brennstoffe in Feuerungen und in Verbrennungsmaschinen war der Grund für die Zunahme ihrer Verwendung. Man ist in neuster Zeit lebhaft bemüht, die inländische Oelproduktion entweder durch Ausnützung leistungsfähiger Oelquellen oder durch synthetische Verfahren zu steigern, um die Vorzüge der Energiegewinnung aus flüssigen Brennstoffen in größerem Umfange zu verwirklichen. Auch die Benutzung von Gasen als Treibstoff für Kraftmaschinen hat in der Berichtszeit stark zugenommen. Während aus natürlichen Quellen heizkräftige Gase stets nur in beschränktem Umfang entnommen werden konnten, sind in der Zeit der industriellen Entwicklung die sogenannten Kraftgase als Nebenprodukte in wachsender Menge angefallen und in leistungsfähigen Gasmaschinen für die Krafterzeugung verbraucht worden. Um die Unterbringung dieser Gase sicherzustellen, mußte man auf eine ständige Erweiterung der versorgten Gebiete bedacht sein.

Die Ausnützung der Wasserkräfte für die Energieerzeugung hat in einem für die Volkswirtschaft nennenswerten Umfang erst um die Jahrhundertwende begonnen. Seither sind an zahlreichen geographisch geeigneten Stellen, besonders in Süddeutschland, Wasserkraftwerke mit bedeutender Leistungsfähigkeit errichtet worden. Besonders in der Zeit nach dem Kriege bestand Veranlassung, zur Entlastung des Steinkohlenbedarfs die im Reiche verfügbaren Wasserkräfte weitgehend zu verwerten. Trotz diesen Bestrebungen konnte diese Art der Energieerzeugung wegen der besonderen Eigenschaften ihrer Kraftquellen und hauptsächlich wegen der beschränkt in Deutschland vorhandenen ausnutzbaren Gewässer nur einen verhältnismäßig kleinen Anteil der Bedarfsdeckung übernehmen.

B. Erzeugung der Energie.

Der Bau von Maschinen zur Erzeugung von Energie hat sich seit dem Beginn dieses Jahrhunderts sehr rasch, manchmal sogar sprunghaft entwickelt. Zur Erzielung größerer Wirtschaftlichkeit, die beim Neubau von Kraftanlagen stets erstrebt wurde, vervollkommnete man ständig die verschiedenen Arten der Kraftmaschinen, indem man bald für die eine, bald für die andere eine Ueberlegenheit zu erlangen suchte. Die technischen Fortschritte und Erfahrungen ergaben im Laufe der Entwicklung eine Auswahl der wirtschaftlich günstigsten Maschinenarten aus der großen Zahl der Konstruktionen von Energieerzeugern. Die einzelnen Maschinen konnten zur Erhöhung ihrer Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit bedeutend

vereinfacht werden. In neuester Zeit haben sich für gewisse Kraftmaschinen Konstruktionsformen hoher Vollkommenheit ergeben, an denen wesentliche Verbesserungen vorläufig nicht mehr zu erwarten sind.

1. Dampfkraftanlagen.

Die Dampfmaschine war, wie oben gezeigt worden ist, am Ende des vorigen Jahrhunderts die Quelle des weitaus größten Teils der gebrauchten Energie. Infolge der Entwicklung der anderen Kraftmaschinenarten ist seitdem der Anteil der Dampfmaschinen an der Energieerzeugung zurückgegangen. Trotzdem sind noch heute in Deutschland die Dampfkraftanlagen die leistungsfähigsten aller Krafterzeuger.

Zur Erzeugung des Dampfes für den Betrieb der Dampfmaschinen dient die Kesselanlage. Obwohl Kessel und Maschine meist räumlich getrennt sind, bilden sie zusammen eine einheitliche Kraftanlage. Der bedeutendste Teil der Entwicklung der Dampfkessel von den ersten Anfängen bis zum Vorhandensein betriebssicherer Anlagen vollzog sich im 19. Jahrhundert. Zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Dampfkraftanlagen durch Verminderung des Dampfverbrauchs war in erster Linie die Anwendung eines erhöhten Drucks notwendig. Während die um 1800 von Watt eingeführte Dampfmaschine mit etwa 1,3 at Ueberdruck betrieben wurde, benutzten die Dampfkraftanlagen um 1900 in der Regel einen Kesseldruck von 12 bis 15 at. Zur Vermeidung der Kondensation in Maschine und Dampfleitungen ging man in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zur Ueberhitzung des Dampfes über. Die Leistungsfähigkeit eines Dampferzeugers ist außer von seiner Bauart von der Größe der Heizfläche, die auf der einen Seite von den Heizgasen und auf der anderen Seite vom Wasser berührt wird, und von der Größe der Rostfläche abhängig, auf der der Brennstoff verbrannt wird. Als Wirkungsgrad der Kesselanlage wird das Verhältnis der in Form von Dampf gewonnenen ausnutzbaren Wärmemenge zu der in Form von Brennstoff aufgewandten Wärmemenge bezeichnet. Die Bedienung der Feuerung, der Zug des Schornsteins, der Zustand des Dampfkessels und die Belastungsverhältnisse beeinflussen die Höhe des Wirkungsgrades. Dampfkessel werden ortsfest in besonderen Kesselhäusern, als Schiffskessel in den beschränkten Unterwasserräumen der Schiffe und als Lokomobil- und Lokomotivkessel auf Fahrzeugen benutzt.

Die einfachste Form des Dampfkessels ist der Großwasserraumkessel, der schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts Verwendung fand. Eine der ersten Konstruktionen war der Walzenkessel, der wegen unwirt-

schaftlichen Betriebes infolge großer Wärmeverluste in neuester Zeit nicht mehr verwandt wird. Er bestand aus einem einfachen Zylinderkessel mit Unterfeuerung mit einem einfachen Längszug. Mehrere Walzenkessel wurden über einer Feuerung zu Doppel- oder Batteriekesseln vereinigt, in denen die Heizgase durch gemauerte Züge an den einzelnen Kesselzylindern vorbeigeführt wurden. Beim Batteriekessel wurden die übereinanderliegenden Kessel so mit einander verbunden, daß in den Unterkesseln das Wasser vorgewärmt wurde und in den Oberkesseln, unter denen die Feuerung lag, die Dampferzeugung vor sich ging. Bedeutende Verbesserungen brachten die zuerst in England bekannt gewordenen Flammrohrkessel. Innerhalb des zylindrischen Waserraumkessels sind hier ein, zwei oder drei durch die ganze Kessellänge hindurchgehende Flammrohre eingebaut. Die Feuerung befindet sich im vorderen Teil der Flammrohre. Von dort werden die Heizgase zuerst durch die Flammrohre und dann durch gemauerte Seitenzüge oder Ober- und Unterzüge am Kesselmantel entlanggeführt. Da die Flammrohre im Betrieb erheblich höhere Temperaturen erhalten als der Kesselmantel, muß für Ausdehnungsmöglichkeit gegenüber dem Kesselmantel gesorgt werden. Zu diesem Zweck und zur Versteifung gegen den äußeren Ueberdruck sind die Flammrohre meist gewellt. Im zweiten Zug hinter den Flammrohren kann der Dampfüberhitzer eingebaut werden, dem die Heizgase durch Regulierklappen zuströmen. Der Vorteil der Flammrohrkessel beruht auf guter Wärmeübertragung bei geringen Strahlungsverlusten, da die völlig vom Wasser umspülten Flammrohre einen großen Teil der Gesamtheizfläche ausmachen. Da die Flammrohre aber die Größe der Rostfläche beschränken, können nur hochwertige Brennstoffe verwandt werden. Die Anwendung der Flammrohrkessel beschränkt sich heute auf kleine und mittlere Anlagen, weil ihre Heizfläche für große Leistungen nicht ausreichen und ihr großer Raumbedarf die Wirtschaftlichkeit großer Anlagen beeinträchtigen würde. Die in neuester Zeit vielfach angewandte Steigerung des Dampfdrucks ist bei Flammrohrkesseln nicht möglich, da sich sehr dicke Wandungen mit großen Gewichten und hohen Herstellungskosten ergeben würden. Die Großwasserraumkessel ermöglichen auch bei starken Entnahmeschwankungen starke Dampferzeugung, da ihr großer Wasserinhalt als Wärmespeicher wirkt.

Auch die Heizrohrkessel sind als Dampferzeuger für neuere Kraftwerke nicht geeignet. Der zylindrische Wasserraum dieser Kessel wird von einer großen Anzahl kleiner Heizrohre durchzogen, durch die die Heizgase hindurch-

strömen. Die Heizrohre sind in die Kesselböden eingewalzt. Die zur Erzielung guter Wäremeausnützung erforderlichen zahlreichen und engen Rohre lassen sich schwer reinigen. Die Heizrohrkessel können wegen ihres geringen Wasserinhalts schnell angeheizt und in Betrieb genommen werden. Sie enthalten auf geringem Raum eine große Heizfläche. Für Betriebe mit stark schwankender Dampfentnahme sind sie nicht geeignet. Heizrohrkessel mit davorliegenden Feuerbüchsen sind als Lokomobil- und Lokomotivkessel, ferner als Kessel für kleine Schiffe in Benutzung. Ohne Feuerbüchse dienen sie als Abwärmekessel zur Verwertung der Wärme, z. B. der Auspuffgase der Verbrennungsmaschinen. Zur Vereinfachung der Reinigung werden die Rohrbündel vielfach ausziehbar eingerichtet. Die Kessel werden liegend und stehend aufgestellt. Bei neueren Ausführungen, die auf kleineren Schiffen eingebaut werden, liegt die Feuerung innerhalb des Kessels. Der Ueberhitzer wird in der Rauchkammer hinter den Heizrohren angeordnet. Stehende Bauarten mit Innenfeuerung wurden für ortsfeste und Fahrzeugverwendung ausgeführt. Die Feuerbüchsen der Lokomobil- und Lokomotivkessel waren früher zylindrisch und werden jetzt mit ebenen Wänden aus Kupfer hergestellt. Die nicht eingemauerten Kessel der Fahrzeugmaschinen werden zur Verhütung von Abstrahlungsverlusten außen isoliert. Heizrohr- und Flammrohrkessel wurden auch als Doppelkessel übereinander gebaut und gemeinsam mit Dampfraum in Unter- und Oberkessel betrieben. Die Heizgase wurden zuerst durch die Rohre des unten liegenden Flammrohrkessels, dann durch die Heizrohre des Oberkessels, um den Mantel des Oberkessels und dann um den Mantel des Unterkessels geführt. Ein bedeutender Fortschritt der Technik der Dampferzeugung war die Einführung des Wasserrohrkessels in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts. Diese Kesselart wurde in der Folgezeit weiter entwickelt und bildet heute die am meisten verbreitete Form der Dampferzeuger für große Leistungen. Innerhalb der von den Heizgasen durchströmten Räumen liegt eine große Zahl wassergefüllter Rohre, die meist durch Wasserkammern verbunden sind, die sich an den zylindrischen Oberkessel anschließen. Die Wasserrohrkessel enthalten große Heizflächen auf kleinem Raum und eignen sich wegen der geringen Durchmesser ihrer Rohre für hohe Dampfdrücke. Der verhältnismäßig geringe Wasserinhalt ermöglicht eine rasche Betriebsbereitschaft bei geringer Anheizdauer, so daß der Wasserrohrkessel auch für Spitzenkraftdeckung benutzbar ist. Bei Auftreten plötzlicher Entnahmeschwankungen ist die Einschaltung einer besonderen Speicheranlage erforderlich. Die Heizung er-

folgt durch Unterfeuerung. Der Kessel ist daher auch für geringwertige Brennstoffe geeignet, da große Rostflächen eingebaut werden können. Die Heizgase werden durch Platten gelenkt und meist senkrecht geführt, so daß hohe Dampfleistungen bei kleinem Raumbedarf erzielt werden. Wegen der geringen Rohrweiten, der Gefahr des Kesselsteinansatzes und der schwierigen Reinigung der Rohre können Wasserrohrkessel nur mit enthärtetem Wasser gespeist werden. Für den sicheren Betrieb ist ferner ein gleichmäßiger Wasserumlauf durch alle Teile des Kessels zur Vermeidung von Wärmespannungen in den Kesseltrommeln und zur Verminderung von Schlammablagerungen wesentlich. Durch Verbesserung des Wasserumlaufs wurden in neuerer Zeit sogenannte Hochleistungskessel mit bedeutend gesteigerter Dampfleistung gebaut. Ascheablagerungen an den Außenseiten der Rohre werden durch Rußbläser beseitigt. Man unterscheidet Schrägrohrkessel mit etwa 15° geneigten Rohren und Steilrohrkessel. Die älteren Schrägrohrkessel wurden früher hauptsächlich als Wasserkammerkessel ausgeführt, die in Deutschland zuerst von der 1883 gegründeten Düsseldorfer Kesselfabrik Dürr hergestellt wurden. Die neueren Steilrohrkessel enthalten keine Wasserkammern und haben annähernd senkrechte Rohre, so daß sehr hohe Dampfleistungen auf kleinem Raume erreicht werden. Diese Kessel konnten für besonders hohe Drücke von über 100 at ausgebildet werden.

Die Dampfkessel bestehen meist aus zylindrischen Behältern, die aus einzelnen Blechen zusammengesetzt sind. Die Verbindung der Kesselbleche erfolgte bis in die letzte Zeit ausschließlich durch Nietung. Die Fortschritte der Schweißtechnik in neuester Zeit führten zur Anwendung der Wassergasschweißung mit Ueberlappung bei Kesselkörpern. Die Kessel werden nach Fertigstellung mit erhöhtem Druck mit Wasser abgepreßt und dann einer Warmbehandlung unterzogen, um innere Spannungen zu beseitigen.

Obwohl schon im vorigen Jahrhundert eine wesentliche Erhöhung der üblichen Dampfdrücke vorgeschlagen worden war, ermöglichten die wissenschaftlichen Erkenntnisse und der Stand der Maschinenbautechnik erst im dritten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts die Ueberschreitung eines Dampfdrucks von etwa 20 at für leistungsfähige Dampfkraftanlagen. Diese Steigerung des Dampfdrucks brachte eine bedeutende Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Kraftanlagen. Soweit die technische Durchbildung und die praktische Erfahrung einen gefahrlosen Betrieb gewährleisten, ist die Steigerung des Dampfdrucks zweckmäßig, da der Gesamtdampfverbrauch der

Dampfturbine mit steigendem Druck fällt und der Wärmeverbrauch sinkt, allerdings über 35 at in zunehmend geringerem Maße. Die Anlagekosten der Turbinen mit Curtisrad erfahren im Hochdruckteil für Drücke bis 35 at keine wesentliche Steigerung. Die Frischdampfleitungen sind bei Verwendung höherer Dampfspannungen für größere Festigkeit, aber für geringere Leistungsquerschnitte zu konstruieren. Ihre Gesamtkosten, die sich aus den Kosten für die Leitungen selbst und für die Armaturen zusammensetzen, erhöhen sich mit steigendem Betriebsdruck nur unbedeutend. Die ersten aufschlußreichen Versuche zur Erzeugung von Hochdruckdampf nahm Wilhelm Schmidt im Jahre 1885 vor. Da zur Sicherung gegen Explosionen nur ein geringer Wasserinhalt des Dampferzeugers brauchbar erschien, verwandte er Schlangenrohre, in denen Dampf von 60 at erzeugt wurde. Die größte Schwierigkeit, die zunächst die Fortführung der Versuche verhinderte, bestand in stoßweiser Verdampfung, die eine gleichmäßige Ueberhitzung unmöglich machte und gefährliche Drucksteigerungen zur Folge hatte. Erst im Jahre 1910 wurden die Hochdruckdampfversuche von Wilhelm Schmidt wieder aufgenommen. Jetzt wurde ein Steilrohrkessel für 60 at Betriebsdruck und 450° Frischdampftemperatur gebaut. Als Kesseltrommeln wurden nahtlos gezogene Rohre mit aufgeschweißten Böden verwandt. Der Kessel enthielt Verdampfer, Ueberhitzer und Vorwärmer. Er wurde zuerst in Aschersleben und später in Wernigerode aufgestellt, war lange Zeit im Betrieb und lieferte wertvolle Erfahrungen. Auf Grund dieser günstigen Versuchsergebnisse baute die Firma Borsig, Berlin-Tegel, einen größeren Hochdruckkessel gleicher Art. Die Kesseltrommeln wurden von Krupp-Essen aus einem Stück nahtlos geschmiedet und die Böden ausgestaucht. Die dickwandigen Dampf- und Wassersammler wurden durch Wärmeschutzwände der strahlenden Wärme der Feuerung und der Einwirkung der Feuergase entzogen, um Wärmespannungen zu vermeiden. Bis zum Jahre 1924 wurden ferner von der Hanomag für die Farbenfabriken vorm. Fr. Bayer & Co. in Leverkusen eine Kesselanlage für 32 at Betriebsdruck, bestehend aus 12 Steilrohrkesseln, und von Borsig für die Grube Ilse in der Niederlausitz eine Anlage für 34 at Betriebsdruck, bestehend aus 4 Sektionalkesseln, geliefert.

In den folgenden Jahren sind weitere Kessel dieser Bauart von den genannten Firmen ausgeführt worden. Die weitere Erforschung der Möglichkeiten der Hochdruckdampferzeugung ergab in den letzten Jahren Konstruktionen auf neuen Grundlagen, z. B. den Löffler-Kessel, den schwedischen Atmos-Kessel und den englischen Benson-

Kessel. Da diese zum Teil sehr aussichtsreichen Forschungsergebnisse bisher nur in einzelnen Ausführungen in Betrieb sind, kann bei ihnen von einem Einfluß auf die Struktur der Kraftwirtschaft noch nicht gesprochen werden. Wie mit den in Betrieb befindlichen Hochdruckdampfanlagen festgestellt wurde, lassen sich durch Erhöhung des Betriebsdrucks praktisch etwa die folgenden Kohlenmengen ersparen:

von 15	auf 21 at	3—4 v. H.
	auf 25 at	4—5 v. H.
	auf 30 at	5—6 v. H.

Die Ausnützung des Wasserdampfes in leistungsfähigen Kraftmaschinen ist erst durch die Einführung der Ueberhitzung ermöglicht worden. Die Temperatur des Dampfes wird unter Beibehaltung des Drucks erhöht. Hierbei wird das bei der Verdampfung mitgerissene Wasser nachverdampft und der Dampf getrocknet, sodaß in den angeschlossenen Dampfleitungen und Maschinen keine Kondensation eintritt und Verluste vermieden werden. Ferner wird durch Verwendung des Heißdampfes der Dampfverbrauch im Maschinenbetrieb herabgesetzt. Als Ueberhitzer dienten früher gußeiserne, jetzt ausschließlich schmiedeeiserne Rohre, durch die der Dampf geleitet wird, und die von außen beheizt werden. Sie werden an einer Stelle der Feuerzüge der Kesselanlage eingebaut, an der die Heizgase eine Temperatur von 600—700° haben. Die Heizung des Ueberhitzers durch die Heizgase kann meist mit Hilfe von Gasklappen geregelt und abgeschaltet werden. Mehrere Ueberhitzerrohre können parallel oder hintereinander geschaltet werden. Auch der Ueberhitzer muß durch ein Sicherheitsventil gegen übermäßige Drucksteigerung geschützt sein.

Das Kessel-Speisewasser wird durch Kolbenpumpen, bei größeren Leistungen durch mehrstufige Kreiselpumpen, in den Kessel gedrückt. Zum Antrieb der Kesselspeisepumpen wird die Dampfturbine dem Elektromotor vorgezogen, da die Wirtschaftlichkeit der Turbospeisepumpen bei zweckmäßiger Abdampfverwertung der der elektrisch angetriebenen Pumpen gleichkommt, und da die Abhängigkeit der Speisewasserförderung von Stromerzeugungsstörungen betrieblich unerwünscht ist. Anlagekosten und Dampfverbrauch der Turbokesselspeisepumpen nehmen mit steigendem Betriebsdruck ab. Das Speisewasser wird vor Eintritt in den Kessel im Speisewasservorwärmer durch die in den Rauchgasen noch vorhandene Abwärme vorgewärmt. Bei älteren Anlagen wird das Wasser zu diesem Zweck durch vertikale gußeiserne Rohre geleitet, die in dem mehreren Kesseln gemeinsamen Abzugs-

kanal der Rauchgase eingebaut sind. Bei neueren Kesseln sind die sogenannten Ekonomiser aus Schmiedeeisen an jedem Kessel vorhanden. Die Vorwärmung kann durch Rauchgasschieber ein- und ausgeschaltet werden. Die Temperatur des vorgewärmten Wassers wird etwa 40° unter der Sattdampftemperatur gehalten, damit Dampfbildung und Dampfschläge sicher verhütet werden. Die Erwärmung des Speisewassers wird durch Mischung mit Abdampf oder durch Gegenstromvorwärmung mit Abdampf vorgenommen. In neuester Zeit wird das Speisewasser zur Erzielung wärmewirtschaftlicher Vorteile mit Hilfe von Anzapfdampf auf hohe Temperatur vorgewärmt.

Neuzeitliche Anlagen enthalten zur Steigerung des Kesselwirkungsgrades Luftvorwärmer in Form von Rippenrohren oder Taschen zur Vorwärmung der Verbrennungsluft durch die Rauchgase. Frühere Versuche mit Luftvorwärmung hatten Beschädigungen der Brennkammern zur Folge. Bei Vorwärmung des Speisewassers durch Dampf dient die Luftvorwärmung zur Ausnützung der Rauchgaswärme.

Die Kesselfeuerungen sind für feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe eingerichtet. Die Roste für Kohlenfeuerung, mit denen zu Beginn der hier betrachteten Zeit fast alle Kessel ausgerüstet waren, setzten sich aus geraden, gewellten oder gezackten gußeisernen, selten flußeisernen Roststäben zusammen. Die Feuerung wird nach vorn durch das Feuergeschränk mit den Feuer- und Aschfalltüren verschlossen. Den Abschluß der Rostflächen nach hinten bildet die Feuerbrücke, die meist aus feuerfesten Steinen gemauert ist. Man unterscheidet Planroste, deren Fläche horizontal liegt, die seltener ausgeführten Schrägroste mit geneigter Rostfläche, auf der der Brennstoff selbsttätig hinabrutscht, und Treppenroste in stufenförmiger Anordnung. Zur Verringerung der Bedienungskosten und zur Erzielung gleichmäßigerer Verbrennung wurden später Feuerungen mit selbsttätiger mechanischer Beschikkung eingerichtet. In den mechanischen Feuerungen mit feststehendem Rost wird die Kohle durch selbsttätig arbeitende Schaufeln eingestreut. Bei den Feuerungen mit bewegtem Rost fällt die Kohle aus einem Kohlentrichter auf den vorderen Teil des Rostes und wandert mit dem Rost langsam nach hinten. Am hinteren Ende des Wanderrostes werden nach der Verbrennung Asche und Schlacke durch einen Abstreifer in den Aschfall befördert. Der Vorschub des Rostes und die Schütthöhe der Kohle können von Hand reguliert werden. Auf Wanderrosten können Steinkohlen, hochwertige Braunkohlen und kleine Braunkohlenbriketts verbrannt werden. Die Verbrennungsluft wird als Unterluft durch den Rost oder als Oberluft

durch Kanäle der Feuerbrücke eingeführt. Die Luftmengen werden durch den Heizer oder automatisch reguliert. Der Zug der Verbrennungsluft wird meist durch den Schornstein erzeugt. Außer den altbewährten gemauerten Schornsteinen sind bei neueren Industriebauten eiserne Schornsteine aufgestellt worden. Trotz des Mangels an flüssigen Brennstoffen wurden auch in Deutschland Dampferzeuger in besonderen Fällen mit Oelfeuerung versehen. Die flüssigen Brennstoffe, meist Teer oder Rohpetroleum, werden mit Dampf- oder Luftdruck durch Düsen in den Feuerraum gespritzt. Bei der Zerstäubung wird Verbrennungsluft hinzugemischt. Bei den Feuerungen für gasförmige Brennstoffe unterscheidet man Halbgasfeuerungen, bei denen das Gas in einer Vorfeuerung teils vergast und teils verbrannt wird und dann in der Kesselfeuerung unter Luftzufuhr völlig verbrennt, und die neuzeitlichen Gasfeuerungen zur Verbrennung von Abgasen von Hochöfen, Koksöfen und sonstigen Industrieöfen in Brennern mit Luftzutritt. Oel- und Gasfeuerungen haben den Vorzug leichter Bedienung und des Fortfalls von Schlacke, Asche und Rauch. In die letzte Zeit der Entwicklung fiel die Einführung der Kohlenstaubfeuerung. Schlacken- und aschereiche Kohle und Kohlengrus, der in den bisher vorhandenen Feuerungen nicht verbrannt werden konnte und daher billig ist, wird in Trockentrommeln durch Dampf oder Abgase getrocknet, gemahlen, durch Rohrleitungen den Feuerungen zugeführt und mit Luftdruck durch Brenner in die Brennkammer eingeblasen. Mit den Kohlenstaubfeuerungen wurden bei leichter Bedienung und einfacher Regulierbarkeit ohne Rauch- und Schlackeanfall hohe Kesselwirkungsgrade erreicht.

Für die Verwendung des in den Kesselanlagen erzeugten Dampfes stand im 19. Jahrhundert ausschließlich die Kolbenmaschine zur Verfügung. Die älteste deutsche Dampfmaschine, eine einfach wirkende Kolbenmaschine, war von einem englischen Maschinenmeister erbaut und wurde 1813 in Betrieb genommen. Sie leistete mit 0,7 at Dampfdruck bei 12 Hüben/Min. etwa 20 PS. 1865 kam die erste Ventildampfmaschine von der Firma Sulzer in Betrieb. Schichau in Elbing erbaute 1878 die erste betriebsfähige Zweifach-Expansions-Schiffsmaschine und 1883 die erste Dreifach-Expansions-Maschine, zugleich die erste auf dem europäischen Festland konstruierte und erbaute stehende Maschine dieser Art. Die erste Heißdampf-Tandem-Maschine von Schmidt mit 350° Ueberhitzung wurde 1894 in Benutzung genommen. Auf der Weltausstellung 1900 zeigte Borsig eine stehende Dreifach-Expansions-Maschine für 14 at Heißdampf, die bei 90 Umdr./Min. 2500 PS leistete. Eine ähnliche Maschine war als Schnelläufer mit

135 Umdr./Min. vorhanden. Auch die Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbaugesellschaft Nürnberg hatten eine stehende Dreifach-Expansions-Maschine mit 2000 PS bei 72 Umdr./Min. ausgestellt. Diese Angaben zeigen, daß am Ende des 19. Jahrhunderts die Entwicklung der Kolbendampfmaschine bis zu leistungsfähigen Modellen mit Expansionssteuerung und Heißdampfbetrieb gediehen war. Diese Maschinenart, die in den ersten Jahren des neuen Jahrhunderts noch die einzige erprobte Kraftmaschine für große Leistungen war, konnte in der folgenden Zeit durch Verbesserung ihres Wirkungsgrades, Verringerung des Gewichts, der Herstellungskosten und des Platzbedarfs durch Erhöhung der Drehzahl und durch konstruktive Anpassung an die verschiedenen Verwendungszwecke weiter vervollkommnet werden. Im Gegensatz zu dem allgemein angewandten Wechselstrombetrieb mit Ein- und Austritt des Dampfes am gleichen Zylinderende wurden Maschinen nach dem Gleichstromprinzip entwickelt, nach dem der Dampf nach Durchströmen des Deckels und des Zylinders im mittleren Teil der Zylinderbüchse, also an dem dem Einströmorgan entgegengesetzten Zylinderende, durch kolbengesteuerte Schlitze den Zylinder verläßt. Die Vorteile des Gleichstrombetriebs bestehen in der Verringerung der schädlichen Flächen und der durch sie verursachten Verluste. Die Kolbendampfmaschine wird in neuester Zeit bis zu 1000 oder 1500 PS Leistung verwandt. Der Wert der mehrstufigen Expansion ist durch die Einführung der hohen Ueberhitzung geringer geworden. Dreifach-Expansions-Maschinen sind nur noch als Schiffsmaschinen in Gebrauch. Ortsfeste Maschinen werden liegend oder stehend angeordnet. Liegende Zweizylindermaschinen haben meist Tandemform, sodaß nur ein Triebwerk und ein Rahmen erforderlich sind.

Die Steuerungen der Dampfmaschinen, die die Organe für die Dampfverteilung, wie Schieber oder Ventile und deren Antrieb umfassen, waren, wie oben erwähnt, bei den leistungsfähigen Maschinen schon am Ende des vorigen Jahrhunderts als Expansionssteuerungen ausgebildet, die nur während eines einstellbaren Teiles des Hubes Frischdampf in den Zylinder einströmen lassen und nach Abschluß der Dampfzufuhr die Expansionskraft des Dampfes zur Wirkung bringen. An Stelle der anfangs benutzten Einschieber-Expansionssteuerung mit Flachregler traten für Maschinen mit kleinen und mittleren Drehzahlen zur Vermeidung sehr großer Achsenregler die Doppelschieber-Steuerungen, bei denen zwei Schieber durch je ein eignes Exzenter angetrieben werden. Für die hohen Drucke und Temperaturen der neueren Maschinen werden entlastete Kolbenschieber verwandt, die betriebssicherer sind, als die

älteren Flachschieber. Die Steuerung der Dampfmaschinen durch Ein- und Auslaßventile erfordert kleine Steuerkräfte und ermöglicht die unabhängige Einstellung der Dampfverteilung für jede Kolbenseite. Um die Kräfte zur Betätigung der Ventile möglichst gering zu halten, wurden entlastete Doppelsitzventile angewandt. Die Ventilsteuerungen wurden als freifallende und als zwangsläufige Steuerungen ausgebildet. Die Umsteuerungen dienen zur Umkehrung der Drehrichtung der Maschinen. Sie kann erreicht werden durch Vertauschen der Zu- und Abströmkanäle des Dampfes, durch Verschieben eines beweglichen Schieberspiegels, durch Umkehrhebel oder durch Verwendung eines doppelten Schiebers. Auch diese in erster Linie für Fahrzeugmaschinen, aber auch für einzelne ortsfeste Maschinen erforderlichen Einrichtungen erfuhren in den letzten Jahrzehnten noch wertvolle Verbesserungen. Bei den Reglern zur selbsttätigen Innehaltung einer eingestellten Drehzahl gelang es in neuester Zeit, durch Neukonstruktionen den Bereich der beherrschten Drehzahlen erheblich zu vergrößern.

Soll das vor der Dampfmaschine zur Verfügung stehende Druck- und Temperaturgefälle des Dampfes voll ausgenützt werden, ist Betrieb mit Kondensation erforderlich. Alle Dampfmaschinen mittlerer und großer Leistung, deren Abdampf nicht zu Heizzwecken verwandt wird, auch die Lokomobilen, geben zu diesem Zweck ihren Abdampf in einen Kondensator ab, in dem dieser Dampf durch Abkühlung mittels Einspritzung kalten Wassers bei der Mischkondensation oder auf wassergekühlten Rohren bei der Oberflächenkondensation kondensiert wird. Der infolge der Kondensation entstehende Unterdruck wird durch ständiges Absaugen des Kondensats und des vorhandenen Dampf-Luft-Gemisches durch Pumpen aufrecht erhalten. Der Unterdruck beträgt in der Regel 85 bis 90 v. H.

Der Beginn des neuen Jahrhunderts brachte für die Krafterzeugung mit Wasserdampf die praktische Einführung derjenigen neuen Kraftmaschinenart, die heute für die Energieerzeugung in Großkraftwerken allein in Betracht kommt, der Dampfturbine. Anders als in der Kolbenmaschine wird in der Turbine das nutzbare Dampfdruck- bzw. Wärmegefälle in Form von Strömungsenergie auf gekrümmte Kanalwände des Turbinenrades übertragen und dann von der Welle als mechanische Arbeit abgegeben. Die Dampfturbinen werden nach verschiedenen Gesichtspunkten eingeteilt. Nach der Strömungsrichtung des Dampfes in der Turbine unterscheidet man Axialturbinen, wenn die Strömung auf Zylinderflächen erfolgt, die ganz oder nahezu parallel zur Welle der Turbinenräder sind, Radialturbinen, wenn die Strömung ganz oder nahezu senk-

recht zur Turbinenwelle erfolgt, und gemischte Systeme, wenn die Strömung auf einer allgemeineren Umdrehungsfläche stattfindet. Bei der Gleichdruck- oder Aktionsturbine bleibt der bei Austritt aus der Düse des Leitrades herrschende Dampfdruck während der Energieumsetzung im Laufrad gleich, allein die kinetische Energie des Dampfes übt ihre Wirkung auf die Laufradschaufeln aus. Bei der Ueberdruck- oder Reaktionsturbine nimmt der Dampfdruck im Laufrad ab, ein Teil der wirksamen Radumfangskraft wird durch den Ueberdruck vor dem Laufrad erzeugt, der erst beim Durchströmen durch das Rad in Geschwindigkeit umgesetzt wird. Nach der Anzahl der hintereinander geschalteten Turbinenstufen spricht man von einstufigen und mehrstufigen Turbinen.

Die erste betriebsfähige Gleichdruckturbine wurde 1888 auf Grund der Versuche des Schweden de Laval als einstufige und partiell von 2 Düsen beaufschlagte Axialturbine mit 20000 Umdr./Min. in Betrieb genommen. Turbinen dieser Bauart werden heute noch hergestellt. Die wegen der auftretenden hohen Dampfgeschwindigkeiten notwendigen hohen Turbinendrehzahlen ergeben Anfangsgeschwindigkeiten der Turbinenräder von mehr als 1000 m/s. Die Drehzahl wird für den Antrieb der Arbeitsmaschine durch Zahnradgetriebe herabgesetzt. Die Zahl der unter einem Winkel zur Radebene angeordneten Düsen beträgt entsprechend der erforderlichen Dampfmenge bis zu 15 Stück. In den 90er Jahren begann Parsons in England mit dem Bau von Ueberdruckturbinen. Bei kleinen Dampfgeschwindigkeiten wurde eine große Zahl von Stufen verwandt, die radial beaufschlagt wurden. Durch die weitgehende Unterteilung des gesamten Druckgefälles und die so erreichte Herabsetzung der Dampfgeschwindigkeit wird die Drehzahl so weit verringert, daß direkte Kuppelung mit dem Generator erfolgen kann.

Nachdem sich anfangs das Festland abwartend gegenüber dieser Neukonstruktion verhalten hatte, bestellte 1900 die Stadt Elberfeld eine Parsons-Turbine für 1000 kW Leistung bei 1500 Umdr./Min. Gleichzeitig wurde diese Turbinenart in Deutschland als Schiffsmaschine ausprobiert. Die günstigen Ergebnisse der Erprobungen gaben Veranlassung, den Bau dieser Turbinen auch in Deutschland aufzunehmen. Als weiterer Mitbegründer des Dampfturbinenbaus ließ Rateau in Paris kleinere Gleichdruckturbinen mit tangentialer Beaufschlagung herstellen. Auf der Pariser Weltausstellung 1900 wurde eine vielstufige Gleichdruckturbine nach seinem Entwurf als Torpedobootsmaschine gezeigt. Die neueren Ausführungen dieser Turbine bestehen aus der Verbindung einer 11-stufigen Gleichdruckturbine mit einem 2-kränzigen Curtisrad für 10000 kW

bei 1250 Umdr./Min. In Amerika wurden um die Jahrhundertwende von der General-Electric-Company nach den Patenten von Curtis Axialturbinen gebaut, die aus wenigen Druckstufen bestanden, aber in jeder Druckstufe 2 oder 3 Geschwindigkeitsstufen enthielten. Anfangs kam nur die stehende Bauart zur Anwendung, in neuerer Zeit wurden auch liegende Maschinen ausgeführt. In neuester Zeit sind Turbinen dieser Art mit Leistungen bis zu 35000 kW gebaut worden. Im Jahre 1903 wurde eine Turbinen-Neukonstruktion der Maschinenfabrik Escher, Wyß & Co., Zürich-Ravensburg, nach dem Entwurf ihres Direktors Zoelly bekannt. Es handelte sich um eine Vielstufen-Gleichdruckturbine mit Axialströmung, die einen hohen Wirkungsgrad erzielte. Durch äußerste Herabsetzung der Stufenzahl wurde eine gedrungene Bauart erreicht. Die Maschine bewährte sich im Betrieb, sie findet bis heute vielfach Verwendung. Einheiten bis zu 35000 kW werden als Zoelly-Turbinen gebaut. Die Firma Sulzer in Winterthur und Ludwigshafen begann 1904 mit dem Bau von Turbinen, die als Verbindung der Bauarten von Parsons und Curtis anzusehen sind. Sie bestanden aus einem mehrkränzigen Gleichdruckrad als Hochdruckstufe und einer Anzahl Ueberdruckstufen als Niederdruckteil. Schon im Jahre 1912 wurde eine 15000 kW-Turbine dieser Art in Deutschland aufgestellt. Großen Anteil an der Entwicklung der Dampfturbine in Europa hat die Firma Brown, Boveri & Co., Baden-Mannheim, indem sie betriebssichere Dynamomaschinen für große Leistungen und große Drehzahlen baute, die durch leistungsfähige Dampfturbinen angetrieben werden konnten. Nachdem ursprünglich reine Ueberdruckturbinen hergestellt wurden, schaltete man später ein Curtisrad zur Aufnahme des Hochdruckgefälles vor. In neuerer Zeit werden Einheiten für 12000 bis 15000 kW bei 3000 Umdr./Min. gebaut, die aus 3 Gleichdruckrädern und 4 Ueberdruckstufen sich zusammensetzen. Die erste B. B. C.-Turbine wurde in Deutschland 1904 für die Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke aufgestellt. Im gleichen Jahre baute die A. E. G. in Berlin die „Riedler-Stumpf-Turbine", die aus einem Rad mit einstufiger Wirkung bestand. Das Laufrad trug eine symmetrische Doppelschaufel bei zentral eintretendem Dampfstrahl. Die Turbine zeichnete sich durch große konstruktive Einfachheit aus. Da aber infolge der hohen Dampfgeschwindigkeiten große Abnutzungen eintraten, wurde die Bauart nach kurzer Zeit aufgegeben. Die einige Jahre später von dem Ingenieur Kolb entworfene Elektraturbine ist eine radial beaufschlagte Gleichdruckturbine mit Geschwindigkeitsabstufungen, die durch mehrfach hintereinander erfolgende Beaufschlagung der Laufräder erzielt wurden, wobei hohe

Umfangsgeschwindigkeiten vermieden sind. Es wurden Einheiten für 750 PS bei 1500 Umdr./Min. hergestellt. Die A. E. G. schloß nach Aufgabe der Riedler-Stumpf-Turbine sich in einer Interessengemeinschaft mit der General-Electric-Company zusammen, die inzwischen die Curtisturbine zu einer leistungsfähigen Großmaschine entwickelt hatte. Auf Grund des Erfahrungsaustauschs mit dieser Gesellschaft begann die A. E. G. den Bau von Turbinen liegender Bauart, die in der Verbindung einer Curtis-Turbine für die erste Stufe mit einer mehrstufigen Gleichdruckturbine bestand. Diese Turbine erreichte eine hohe Wirtschaftlichkeit und entsprach im Betrieb den höchsten Anforderungen. Eine im Jahre 1921 erbaute derartige Turbine, die die größte eingehäusige Dampfturbine der Welt war, leistete bei 1000 Umdr./Min. 50000 kW.

Der Bau der Dampfturbinen stellt wegen der auftretenden hohen Geschwindigkeiten, mechanischen und Wärmebeanspruchungen größere Anforderungen an Materialauswahl und Herstellungsgenauigkeit der einzelnen Maschinenteile, als der anderer Kraftmaschinen. Im Lauf der Entwicklung haben sich besonders geeignete Baustoffe und Konstruktionsgrundlagen herausgebildet. Die Turbinenschaufeln wurden ursprünglich aus Messing, später aus Aluminiumbronze, Monelmetall und Nickelstahl hergestellt Sie werden aus Blechen durch Pressen, Schleifen und Polieren in die der gewünschten Führung des Dampfes entsprechende Form gebracht und geglättet. Die Schaufeln werden in eine umlaufende Nut des Rades meist so eingebaut, daß sie abwechselnd mit Zwischenstücken eingeschoben und verstemmt werden. In neuerer Zeit wird auch die autogene Schweißung zur Befestigung der Schaufeln benutzt. Die Dampfdüsen werden meist aus Bronze oder Stahl angefertigt und erhalten durch Pressen, Ziehen oder Ausfräsen die vorgeschriebene Form. Sie werden entweder als Einzeldüsen in Bohrungen des Gehäuses eingesetzt oder reihenweise in Düsenkästen vereinigt. Die Scheibenräder erhalten einen Querschnitt, der die erforderliche Festigkeit bei der auftretenden Betriebsbeanspruchung gewährt. Der Baustoff ist meist Stahl von hoher Zerreißfestigkeit. Bei den vielstufigen Ueberdruckturbinen werden die Laufschaufeln auf Trommeln aus Gußeisen oder Stahlguß befestigt. Die Trommeln werden außen und innen abgedreht und zur Erlangung eines vollständigen Massenausgleichs ausgewuchtet. Die Stopfbüchsen, die eine betriebssichere Abdichtung der Welle gegen den Austritt des überhitzten Dampfes herstellen müssen, gehören zu den schwierigsten und wichtigsten Teilen der Turbine. In den meisten Fällen werden sogenannte Labyrinthdichtungen benutzt, die Parsons zuerst für größere Ausführungen anwand-

te, und die auf äußerster Verringerung des für den Durchtritt des Dampfes vorhandenen Spieles beruht. Die Stopfbüchsen bestehen aus abwechselnd aneinander gereihten Spalten und Zwischenkammern, in denen die Geschwindigkeit des auftretenden Dampfes durch Wirbelung vernichtet wird. Die Turbinengehäuse aus Gußeisen, teilweise aus Stahlguß, werden in der Regel horizontal geteilt und mit Flanschen ohne Zwischenlage von Dichtungen verschraubt. Zur Vermeidung gefährlicher Spannungen oder Verlagerungen müssen die Wärmeausdehnungsverhältnisse sorgfältig beachtet werden.

Die Fortschritte der Technik des Dampfturbinenbaus führten im Verlauf der Entwicklung zu einer bedeutenden Herabsetzung der erforderlichen Anlagekosten. Die Gesamtkosten einer elektrischen Zentrale betrugen in RM pro kW Zentralenleistung bei mittlerer Werksgröße:

1904/5	1200 bis 1300
1913	250.

Da die Anlagekosten, bezogen auf die Leistung, mit steigender Turbinenleistung sinken und ihr Ausnutzungsfaktor steigt, ist die Dampfturbine als Kraftmaschine für Großkraftwerke hervorragend geeignet. Die notwendigen Maschinenreserven werden mit Vergrößerung der Anlagen kleiner, und ihr Einfluß auf die Gesamtkosten sinkt. Eine Zunahme der Werksgröße verringert den spezifischen Brennstoffverbrauch, da der Wirkungsgrad der Anlage steigt. Mit der Erweiterung des Versorgungsgebiets wird ferner der Ausgleich der Belastungen verbessert. Die Dampfturbine ist geeignet, weit größere Leistungen als die Kolbenmaschine in einer Einheit zu erzeugen. Die obere Leistungsgrenze für die Anwendung der Kolbenmaschinen liegt etwa bei 25000 PS. Die Einheitsleistung der 1919 im Kraftwerk Klingenberg in Berlin aufgestellten Dampfturbinen beträgt 80000 kW.

Für die Ausnutzung des Hochdruckdampfes von mehr als 20 at hat die Schmidtsche Heißdampfgesellschaft geeignete Maschinen konstruiert. Die erste Kolbenmaschine von etwa 45 at Anfangsdruck wurde aus der Normaldruck-Heißdampf-Tandemmaschine entwickelt. Als Steuerorgane dienten Doppelsitzventile aus Gußeisen. Bedeutende energiewirtschaftliche Fortschritte brachte später die Einführung der Zwischenüberhitzung und weitgehender Dampfdehnung im Niederdruckzylinder. Die Neuerungen wurden im Jahre 1920 an einer vierstufigen Versuchsmaschine erprobt, die von der Hanomag erbaut war. Der Druck zwischen den aus je 2 Zylindern bestehenden Hoch- und Niederdruckstufen betrug 15 at. Als Steuerorgane wurden Kolbenschieber verwandt, die sich gut bewährten. An dieser Maschine wurde zum ersten Mal die Hochdruck-

stopfbüchse erprobt, die man bei den bisherigen Konstruktionen hatte vermeiden können. Es zeigte sich, daß auch für diesen schwierigen Maschinenteil eine betriebssichere Lösung gefunden war. Als weitere Neuerung wurden von W. Schmidt dampfgesteuerte Einlaßventile eingebaut, die vom Treibmittel selbst ohne äußeren Antrieb betätigt werden. Diese Ventile haben sich im Betrieb mit dem hochgespannten Dampf und in Zusammenarbeit mit dem Regler als sehr geeignet erwiesen. Die Hochdruckmaschinen können im Reihenbau aus einfach wirkenden Zylindern zusammengesetzt werden, sodaß sich Zylinderzahlen bis 8 und Leistungen bis 2000 PS ergeben. Außer Gegendruckmaschinen wurden auch Kondensationsmaschinen mit hoher Wirtschaftlichkeit entworfen. Als besonders billige und zweckmäßige Ausführung baute die Firma Borsig, Berlin-Tegel, eine einfachwirkende Hochdruck-Gegendruckmaschine für 60 at Frischdampfdruck und 10 at Gegendruck. Sie leistet etwa 8000 PS. Die Verwendung von Turbinen für hohe Dampfdrücke von 100 at und mehr war schon von de Laval mit Erfolg versucht worden. Infolge des Fehlens eines brauchbaren Höchstdruckdampfkessels waren diese Versuche aber nicht fortgeführt worden. Erst die Dampferzeuger von Schmidt gaben erneute Anregung zur Konstruktion von Hochdruckturbinen. Die über den normalen Grenzen liegenden Druckgefälle werden meist in Hochdruck-Gegendruckturbinen in besonderem Gehäuse ausgenutzt. Während die Turbinen von de Laval in Stockholm und Brown, Boveri & Co. in Baden, Schweiz, mit geringen Stufenzahlen bei hohen Dampfgeschwindigkeiten betrieben wurden, unterteilen die neuen Hochdruckturbinen der Brünner Maschinenfabrik für 100 at Anfangsdruck das Wärmegefälle zwecks Verbesserung des Wirkungsgrades in eine weit größere Anzahl Stufen. Hochdruckturbinen dieser Art werden in Deutschland von Krupp-Germaniawerft, Kiel, A. E. G., Berlin, Borsig, Berlin-Tegel und M. A. N., Nürnberg, gebaut.

2. Verbrennungsmaschinen.

In dem Zeitabschnitt von den 90er Jahren bis zum 2. Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts wurde der Verbrennungsmotor entwickelt von einer betriebssicheren, aber schwachen Antriebsmaschine für das Kleingewerbe bis zur Großkraftmaschine mit mehr als 10000 PS Leistung für Elektrizitätserzeugung und Fahrzeugantrieb.

Die Verbrennungsmaschine, in der im Gegensatz zur Dampfmaschine die Wärmezufuhr durch Verbrennung eines eingeschlossenen Gemischs erfolgt, das nach der Benutzung ausgewechselt wird, zeichnet sich vor den anderen Kraftmaschinen durch ihren hohen Gesamtwirkungs-

grad aus. Der Gesamtwirkungsgrad ist das Verhältnis der gewonnenen Nutzarbeit zu der aufgewandten Brennstoffwärme. Dieser Wirkungsgrad beträgt bei modernen Zündermotoren bis zu 26 v. H., bei Dieselmaschinen sogar bis zu 35 v. H. Es besteht also in wärmetechnischer Hinsicht eine bedeutende Ueberlegenheit dieser Maschinen gegen Kolbendampfmaschinen mit Kondensation mit etwa 16 v. H. und modernen Dampfturbinen mit 17 bis 25 v. H. Gesamtwirkungsgrad. Auch bei der Verbrennungsmaschine kann die Wärmeausnützung durch Abwärmeverwertung gesteigert werden. Ein weiterer bedeutender Vorteil der Verbrennungsmaschine ist ihre ständige sofortige Betriebsbereitschaft. Der Motor verbraucht in den Betriebspausen wenig oder keinen Brennstoff und ist daher als Reserve- und Spitzenkraftmaschine besonders geeignet. Weitere Vorzüge sind geringer Raumbedarf, einfache Bedienung und der Fortfall von Rauch und Asche. Auf die Bedeutung der guten Transportfähigkeit und der günstigeren Unterbringungsmöglichkeit der Motorentreibstoffe ist schon in dem Abschnitt über die flüssigen Brennstoffe hingewiesen worden.

Die am Ende des vorigen Jahrhunderts vorhandenen Verbrennungsmotoren waren ausschließlich Zündermotoren, in deren Zylindern die Verbrennung des komprimierten Gas-Luft-Gemischs durch eine Zündeinrichtung eingeleitet werden muß, wobei der Druck des Gemisches explosionsartig auf einen Höchstwert steigt. Die Entzündung erfolgt durch eine Erhitzung des fertigen Brenngemischs über die Entzündungstemperatur durch Zünder, unter denen die elektrischen heute am weitesten entwickelt sind. Die eingehenden Untersuchungen über die motorische Verbrennung, die in der Entwicklungszeit der Verbrennungsmaschine vorgenommen wurden, ergaben die verschiedensten Konstruktionen zur Erzielung eines günstigen Arbeitsprozesses der Maschinen. Die Vergasung des Brennstoffs, das Mischungsverhältnis Gas : Luft, die Höhe der Verdichtung des Gemisches, Vorwärmung des Gemisches, die Ausbildung des Verbrenngasraumes und die Anordnung der Zündeinrichtungen, die Einführung des Gemischs in den Verbrennungsraum und das Verhalten des Gemischs während der Verbrennung waren Gegenstände der Untersuchungen und Verbesserungen, die die Vervollkommnung der Motoren bewirkt haben. Ein Problem von besonderer Bedeutung für die Konstruktion der Motoren war die Einordnung des Lade- und Entladevorgangs in die Arbeitsweise der Maschinen. Bei den ersten Gasmaschinen von Lenoir und Langen erfolgte der Lade- und Arbeitsvorgang in einem Hub und der Auspuff im Gegenhub. Die Maschinen arbeiteten also in einem Zweitaktverfahren,

wobei die Verdichtung des Gemischs in einer besonderen Pumpe außerhalb des Zylinders erfolgte. Bei der Ausbildung der Verbrennungsmaschine zur betriebssicheren Kraftmaschine wurde allgemein das Viertaktverfahren angewandt, nach dem bis heute die Mehrzahl der Motoren arbeitete. Der Lade- und Arbeitsvorgang erfolgt hierbei in getrennten Hüben: Ladehub, Verdichtungshub, Arbeitshub und Entladehub werden nacheinander vom Kolben durchlaufen. Zur Erzielung einer besseren Ausnutzung der Zylinder wurde das Zweitaktverfahren ausgebildet, bei dem der Lade- und Entladehub des Viertaktverfahrens fortfallen und das Auswechseln der Arbeitsstoffe im äußeren Totpunkt des Kolbens mit Hilfe von Spül- und Ladepumpen bewirkt wird. Für die Ventile, Steuerorgane und Pumpen ergaben sich zur Erzielung der beabsichtigten Arbeitsverfahren die verschiedensten Ausführungen.

Die erste Verbrennungsmaschine, die zur praktischen Verwendung für den Antrieb von Arbeitsmaschinen nutzbar gemacht werden konnte, erbaute der Kölner Kaufmann N. A. Otto, der 1867 zur planmäßigen Durchbildung des Gasmotors mit dem Ingenieur Langen eine geschäftliche Verbindung einging. Nach Konstruktion verschiedener Versuchsmotoren, die durch die Pariser Weltausstellungen von 1867 und 1878 bekannt wurden, begann in den 80er Jahren die Herstellung der Motoren für den Verkauf. Die Leistungsgrenze der erbauten Maschinen wuchs von 20 PS um 1880 auf 80 PS um 1885, 100 PS 1899 und 200 PS 1893. Höhere Anforderungen an den Gleichgang der Motoren führten zur Anordnung von 2 Zylindern. Um 1895 begann die Anpassung der Maschinen an den Betrieb mit Hochofengas. Die Maschinenleistungen stiegen dabei schneller, sodaß 1898 schon 600 PS entwickelt werden konnten. Das Streben nach Erhöhung der Leistung und der Gleichförmigkeit des Maschinengangs führten zur Anwendung der doppeltwirkenden Arbeitsweise.

Die Gasmotorenfabrik Deutz entwickelte nun Typen von Gasmaschinen in verschiedenen Größen und Leistungen von $^1/_2$ PS an. Die Zylinder wurden zunächst stehend als Bockmotor, später liegend angeordnet. Für große Leistungen wurde die Deutzer doppeltwirkende Großgasmaschine, meist als Tendem- oder Zwillingsmaschine, mit Leistungen bis zu 1800 PS Zylinder bei etwa 100 Umdrehungen/Min. gebaut. Der Verpuffungsdruck beträgt 22 bis 25 at, der Gesamtwirkungsgrad bis zu 20 v. H. Soweit Hochofengas, Kokerei- oder Erdgas nicht verfügbar ist, muß das Kraftgas für diese Maschinen in besonderen Gaserzeugern hergestellt werden. Das von den städtischen Gaswerken gelieferte Leuchtgas ist für die Verwendung in Gas-

maschinen zu teuer. Die Gaserzeugung in den Generatoren wurde in dem Abschnitt über gasförmige Brennstoffe erwähnt. Die Konstruktion der Kraftgasanlagen, meist geschlossener Schachtöfen mit dahintergeschalteten Reinigern, hängt von den Eigenschaften der zu vergasenden Brennstoffe ab. Nach der Art der Fortbewegung des Luft-Dampfgemisches durch Generator und Reiniger unterscheidet man Druck- und Sauggasanlagen. Aehnlich wie Deutz begannen schon um die Jahrhundertwende Gebr. Körting in Hannover den Bau von kleineren Viertakt-Gasmaschinen und ferner von Großgasmaschinen im Zweitaktverfahren. Die Firma hat dieses Verfahren, das sie früher bei Kleinmotoren zugunsten des Viertakts aufgeben mußte, im Jahre 1898 für große Leistungen und Doppeltwirkung wieder aufgenommen. Gleichzeitig entwickelte Oechelhäuser bei der Berlin-Anhaltischen Maschinenbau-A. G. in Dessau die Neukonstruktion einer Zweitakt-Großgasmaschine, deren erste Ausführung mit 300 PS Leistung bei 130 Umdr./Min. um 1900 in Betrieb kam. Auf der Düsseldorfer Ausstellung im Jahre 1902 wurden zum ersten Male Großgasmaschinen vorgeführt, und zwar die Zweitaktmaschinen von Oechelhäuser und Körting. Bald danach trat die damalige Maschinenbaugesellschaft Nürnberg, später Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, mit ihren doppeltwirkenden Gasmaschinen hervor. Durch die gründliche Durchbildung dieser doppeltwirkenden Veirtakt-Maschine übernahm das Werk Nürnberg der M. A. N. die Führung im Bau der Großgasmaschinen. Die Großgasmaschine hat viele Jahre im Mittelpunkt des Interesses der technischen Welt gestanden und ist erst durch die Entwicklung der Dieselmaschine verdrängt worden. Beim Bau der Viertakt-Großgasmaschinen wurden zahlreiche Erfahrungen aus dem Großdampfmaschinenbau benutzt. Die Einzylinderanordnung kam nur ausnahmsweise zur Anwendung. Für Leistungen von 400 bis 3000 PS bei 150 bis 94 Umdr./Min. wurde die zweizylindrige Tandem-Bauart verwendet, deren Zwillingsausführungen bis zur Höchstleistung von 6000 PS gehen. Außer der M. A. N. wandten sich Haniel & Lueg in Düsseldorf, Ehrhard & Sehmer G. m. b. H., Maschinenfabrik Schleifmühle in Saarbrücken, Thyssen & Co. A. G., Abteilung Maschinenfabrik in Mülheim/Ruhr und andere dem Bau von Viertakt-Großgasmaschinen zu. Zur Ausnutzung der in den Auspuffgasen der Gasmaschinen vorhandenen Wärme dienten die Abwärmeverwerter. Sie bestehen aus Kessel, Ueberhitzer und Vorwärmer, durch die die Abgase der Gasmaschine, die bei Eintritt eine Temperatur von 400 bis 700° haben, hindurchströmen und zur Erzeugung von überhitztem Hochdruckdampf benutzt werden. Zur Leistungssteige-

rung von Gasmaschinen, deren Höchstleistung an sich durch die Lademenge der Zylinder beschränkt ist, können Einrichtungen angebracht werden, mit denen ein Ausspülen der Zylinder von zurückbleibenden Verbrennungsgasen durch Frischluft und ein Nachladen mit Luft unter Ueberdruck am Ende des Ansaughubs erfolgt, sodaß der Zylinder bei der Verbrennung ein leistungsfähigeres Gemisch enthält. Die Großgasmaschine dient in erster Linie zum Antrieb von Hochofen- und Stahlwerksgebläsen und zum Walzwerksantrieb. 1925 wurden Gasmaschinen in den folgenden größten Abmessungen gebaut: Viertaktmaschinen bis zu 1500 mm Zylinderdurchmesser und 1500 mm Hub mit einer Zylinderleistung bis etwa 2000 PS und bei Leistungssteigerung bis 2500 PS. Diese Maschinen leisten also in Reihenanordnung 4000 PS und in Zwillings-Reihen-Anordnung 8000 PS. Zweitaktmaschinen bis zu 1250 mm Zylinderdurchmesser und 1400 mm Hub mit einer Zylinderleistung bis etwa 2400 PS, sodaß sich bei Reihenanordnung 4800 PS und bei Zwillings-Reihen-Anordnung 9600 PS Gesamtleistung ergeben.

Zur motorischen Ausnützung flüssiger Brennstoffe ergab sich aus der Gasmaschine durch unwesentliche Veränderungen schon in den ersten Jahren des Motorenbaues der Oelmotor. Die Viertakt-Benzin-Motoren benutzten anfangs fast allgemein den sogenannten Verdunstungs-Karburator, in dem die angesaugte Verbrennungsluft durch flüchtige Kohlenwasserstoffe angereichert wird. Die Schwimmervergaser der modernen Flüssigkeitsverpuffungsmotoren sind nach dem gleichen Grundprinzip gebaut und weichen nur in verschiedenen Einzelheiten ab. Für den Betrieb mit Petroleum und schwereren Oelen wurde zuerst ein besonders geheizter Verdampfer angewandt, der von außen durch eine Petroleumflamme glühend erhalten wird. Später gelang es, das Brennöl so fein zu zerstäuben, daß es in nebelartigem Zustand zusammen mit der Luft in den Verbrennungsraum eingeführt werden kann. Die Gasmotorenfabrik Deutz übernahm den Bau von Kleinmotoren, die sich nach Auswechseln der entsprechenden Konstruktionsteile sowohl für den Betrieb mit Benzin, Benzol, Spiritus und Petroleum als auch mit Leuchtgas, Generatorgas und Naphtalin eignen. Sie werden für Leistungen von etwa 4 bis 50 PS hergestellt. Diese Motoren, die leicht zu transportieren, aufzustellen und besonders einfach zu bedienen sind, wurden von der Herstellerfirma in allen Einzelheiten gut durchgebildet und eingehend erprobt. Sie eignen sich als Antriebsmaschinen für ortsfeste Arbeitsmaschinen aller Art in städtischen und landwirtschaftlichen Betrieben und zum Antriebe von Kleinlokomotiven und sonstigen Fahrzeugen. Der große

Absatz dieser Kleinkraftmaschinen ermöglichte die Herstellung der Einzelteile, den Zusammenbau und die Erprobung in großen Serien. Außer Deutz wandten sich andere deutsche Fabriken, wie Güldner, Körting usw. dem Bau der Flüssigkeitsverpuffungsmotoren zu. Die „Schnellläufer" unter diesen Maschinen eigneten sich beim Betrieb mit Leichtöl vor allem zum Antrieb von Fahrzeugen. In den 90er Jahren verstand es Daimler, ein ehemaliger Direktor der Gasmotorenfabrik Deutz, besonders leichte Motoren mit genügender Dauerhaftigkeit für Drehzahlen von 500 bis 800 Umdr./Min. durchzubilden. Die von ihm angewandte Zwillingsanordnung von 2 Zylindern in V-Form war zum Einbau in Fahrzeuge besonders geeignet. Schon nach wenigen Jahren zeigte sich die Berufung der Verbrennungsmaschine als Fahrzeugmotor, die die gewaltige Entwicklung des Baues der Kraftwagen, Motortriebwagen, Motorschiffe und Luftfahrzeuge zur Folge hatte. Beim Bau von Motoren für Verkehrsmittel und besonders von Flugmotoren ergeben sich folgende Hauptaufgaben: Es ist eine möglichst weitgehende Verminderung des Einheitsgewichts in kg/PS, größte Erhöhung der Betriebssicherheit und Herabsetzung des Brennstoffverbrauchs zu erreichen. Im Verlauf der Entwicklung ist es gelungen, das Einheitsgewicht von 100 kg/PS und mehr auf 1 kg/PS und weniger herabzusetzen. Die letzten Erfolge dieser Bestrebungen wurden erreicht durch die guten Erfahrungen, die man mit luftgekühlten Stern- und Reihenmotoren für kleinere und mittlere Leistungen machte. Die Gewichtsersparnis mußte aber zurücktreten gegen die Forderung unbedingter Betriebssicherheit, vor allem bei den Flugmotoren. Die Herabsetzung des Brennstoffverbrauchs ist weniger durch eine beabsichtigte Brennstoffersparnis als durch das Streben nach Erweiterung des Aktionsradius' des Beförderungsmittels ohne Brennstoffaufnahme geboten. Man war bemüht, den Brennstoffverbrauch durch hohe Verdichtung des Gemischs zu vermindern. Die Grenze für diese Bestrebungen liegt bei der Klopffestigkeit der Brennstoffe. Eine weitere Forderung im Sinne der Erhöhung der Betriebssicherheit ist die zweckmäßige Anpassung des Motors an das Fahrzeug. Einen starken Einfluß auf die Konstruktion der Fahrzeugmotoren hat die Steuerformel ausgeübt. Die Zugrundelegung des Hubvolumens für die Steuerberechnung in Deutschland hat die Entwicklung des Fahrzeugmotorenbaus durch die Bevorzugung der Motoren mit geringem Zylinderinhalt ungünstig beeinflußt.

Im Jahre 1897 wurde nach langjährigen und mühevollen Versuchen eine Neukonstruktion der Verbrennungs-

maschinen öffentlich vorgeführt, die nach ihrem Arbeitsverfahren als erstes Beispiel derjenigen Motoren anzusehen ist, die heute als Brennermotoren bezeichnet werden. Diese neue Kraftmaschinenart, die von den Firmen Krupp Essen und Maschinenfabrik Augsburg ausgeführt wurden, hat ihren Ursprung bei den Forschungen des deutschen Ingenieurs Rudolf Diesel, der eine Kraftmaschine mit möglichst vollkommener Wärmeausnützung der Brennstoffe erstrebte. Aus diesem Grunde wurde später die Bezeichnung „Dieselmaschinen" für die neue Maschinenart eingeführt. Im Gegensatz zu dem Verfahren der Zündermotoren wird im Zylinder das brennbare Gemisch erst unmittelbar vor der Verbrennung gebildet, sodaß keine Vorzündungsgefahr besteht. Der Brennstoff wird in flüssiger Form durch geeignete Düsen in den die Verbrennungsluft enthaltenden Verbrennungsraum eingespritzt, unmittelbar hinter der Einführungsstelle entzündet und mit der Luft verbrannt. Bei der Viertakt-Dieselmaschine wird diese Arbeitsweise wie folgt verwirklicht: Beim Saughub des Kolbens wird nur atmosphärische Luft angesaugt. Beim Verdichtungshub wird die angesaugte reine Luft verdichtet. Da die nachfolgende Verbrennung des Gemischs in der Regel durch Selbstentzündung eingeleitet werden muß, ist eine höhere Verdichtung als bei den Zündermotoren erforderlich. Bei den sogenannten „Höchstdruckmotoren", die in neuerer Zeit hauptsächlich benutzt werden, beträgt der Verdichtungsdruck 28 bis 40 at. Zu Beginn des Verbrennungshubs wird der flüssige Brennstoff mit Hilfe einer Brennstoffpumpe und teilweise mit Hilfe von Druckluft in den Verbrennungraum eingeführt. Die sofort einsetzende Verbrennung und der durch sie verursachte Druckverlauf kann durch die Brennstoffeinspritzung beeinflußt werden. Da nicht wie bei den Zündermotoren eine explosionsartige Drucksteigerung, sondern ein konstanter Druck während der Verbrennung erreicht werden kann, wurde für einen Teil der Brennermotoren die Bezeichnung „Gleichdruckmotoren" angewandt. Im weiteren Verlauf des Verbrennungshubes wird am Ende der Expansion das Auslaßventil geöffnet, durch das beim Auslaßhub die Auspuffgase entweichen. Bei der Zweitakt-Dieselmaschine ist wie bei den Zweitakt-Zündermotoren eine Spül- oder Ladepumpe erforderlich. Zu Beginn des ersten Hubes wird der Zylinder durch die Spülpumpe von Verbrennungsrückständen gespült und mit atmosphärischer Luft aufgeladen. Die Spülluft wird entweder durch gesteuerte Ventile am Zylinderkopf eingeführt, oder sie tritt durch Schlitze in der Zylinderwand ein, die von dem überschleifenden Kolben freigegeben werden. Im weiteren Verlauf des ersten Arbeitshubes wird die Arbeitsluft verdichtet. Zu Beginn

des zweiten Hubes wird der Brennstoff eingespritzt. Entzündung und Verbrennung verlaufen wie im Viertakt-Brennermotor. Am Ende des Verbrennungshubes werden die Auspuffgase durch Schlitze oder Ventile ausgestoßen. Die zur Einleitung der Verbrennung erforderliche Entzündungstemperatur wird bei den Brennermotoren in der Regel durch die starke Erwärmung der komprimierten Luft erreicht. Bei Anfahren der kalten Maschine ist zuweilen Fremdzündung, sogenannte „Anfahrzündung" oder die Verwendung leicht selbstentzündlicher Brennstoffe, sogenannten „Zündöls" erforderlich. Nach Warmwerden der Maschine wird auf schwer entzündliche Oele und Selbstzündung übergegangen. Die Selbstentzündungstemperatur beträgt bei Erdöl etwa 250°, bei Naphtalin und Toluol etwa 560°. Eine besondere Form der Anfahr-Fremdzündung sind ungekühlte „Glühköpfe" oder „Glühwände", die an der Einspritzstelle vor dem Anfahren von außen durch eine Lampe oder von innen durch eine Patrone erhitzt werden, während sie im Betrieb ihre Wärme aus dem Prozeß selbst erhalten. Die Motoren mit diesen Arbeitsverfahren sind als „Glühkopfmotoren" bekannt. Sie sind in zahlreichen Sonderkonstruktionen mit verschiedenen Ausbildungen der Glühflächen und der Brennstoffeinführung entwickelt und als betriebssichere Motoren für kleinere Leistungen allgemein zur Anwendung gekommen. Von besonderer Bedeutung für die Vollkommenheit des Arbeitsprozesses der Brennermotoren ist die gute Verteilung des Brennstoffs auf die Verbrennungsluft. Sie kann durch Einspritzung in einem Preßluftstrahl von 50 bis 60 at Druck erreicht werden, der von einem besonderen Kompressor geliefert wird, den Brennstoff zerstäubt und im Verbrennungsraum verteilt. Das neueste Verfahren, das im 2. Jahrzehnt dieses Jahrhunderts immer mehr zur Anwendung gelangte, ist die „kompressorlose Einspritzung". Der Brennstoff wird nur durch sehr hohen Einspritzdruck von 100 bis 400 at zerstäubt. Der Luftkompressor fällt fort. Die Durchführung der kompressorlosen Einspritzung stellte besonders hohe Anforderungen an die hochkomprimierenden Brennstoffpumpen mit genauester Zumessung der kleinen Brennstoffmengen für die einzelnen Motorzylinder. Während auch bei den Brennermotoren anfangs die Viertaktmaschine allgemein verwandt wurde, wandte man sich später der Zweitakt-Bauart zu, die für das Dieselverfahren gut geeignet ist, da nur Luft verdichtet wird und durch die Zylinderschlitze kein Gemisch entweichen kann, und da Frühzündungen nicht vorkommen können. Bei der Aufladung kann den Zweitaktzylindern Kompressorluft von erhöhtem Druck zugeführt werden, sodaß die Verdichtung im Arbeitszylinder bei höherem als Atmosphärendruck beginnt.

Nach Ablauf des Dieselschen Patents begann eine große Zahl von Maschinenfabriken den Bau von Dieselmaschinen. Die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, aus deren Werk Augsburg der Dieselsche Viertaktmotor hervorgegangen ist, blieb bei dieser Entwicklung an führender Stelle. Als ortsfeste Maschinen baute man zunächst stehende einfach wirkende Viertaktmotoren als Einzylinder- oder Zwillingsmaschinen. Der unten offene Zylinder enthält einen Tauchkolben. Der Deckel enthält Einlaß-, Auslaß-, Brennstoff- und Druckluft-Anlaß-Ventil. Eine oder mehrere Luftpumpen zur Lieferung von Anlaß- und Einblaseluft waren neben den Arbeitszylindern angeordnet. Das Brennstoffventil enthielt vielfach einen sogenannten Plattenzerstäuber, in dem das Oel durch eine Anzahl durchlöcherter Plättchen hindurchgepreßt wurde. Später wurde von der M. A. N. der einfachere Schlitzzerstäuber ausgebildet, in dem der Brennstoff durch die mit großer Geschwindigkeit durch feine Düsen strömende Luft zerstäubt wird. Der Einblasedruck beträgt 45 bis 60 at. Die Nennleistung der Einzylinder-Maschinen war 8 bis 150 PS bei 270 bis 170 Umdr./Min. Der Gesamtwirkungsgrad beträgt bis zu 34 v. H. Im Werk Nürnberg der M. A. N. begann man den Bau liegender Großdieselmotoren als doppeltwirkende Viertaktmaschinen in 2- und 4-Zylinderanordnung mit 600 bis 4000 PS Leistung und einfachwirkender Zweitaktmaschinen in 1- und 2-Zylinderanordnung. L. A. Riedinger in Augsburg baute als eine der ältesten Diesel-Lizenzfirmen stehende Einzylinder- und Zwillingsmaschinen mit Kreuzkopfführung und Zylinderleistungen von 20 bis 1000 PS. Auch die Gasmotorenfabrik Deutz begann früh den Bau nach Lizenzen von Diesel. Sie bildete Motoren durch mit 1 bis 4 stehenden Zylindern mit Zylinderleistungen von 200 PS bei 200 Umdr./Min. und mit liegenden Zylindern von 25 PS Zylinderleistung bei 240 Umdr./Min. Gebr. Körting in Hannover begann unabhängig von den Diesel-Lizenzen 1904/5 den Bau von liegenden Rohölmaschinen mit einem besonderen Einspritzverfahren als Ein- und Zweizylindermotoren mit Zylinderleistungen von 150 PS. Einen bedeutenden Anteil an der Entwicklung der Großölmaschine als ortsfeste wie als Schiffsmaschine haben Gebr. Sulzer in Winterthur. Sie beschränkten sich zunächst auf Ein-, Zwei- und Dreizylinder-Viertaktmaschinen stehender Bauart von 20 bis 600 PS Leistung. Für 200 bis 2000 PS Leistung und 170 bis 140 Umdr./Min. wurden dann einfachwirkende Zweitaktmaschinen in 3- oder 4-Zylinder-Anordnung gebaut. Die oben erwähnten Glühkopfmotoren, die zuerst schwedische und dänische Firmen ausbildeten, wurden bald auch von verschiedenen deutschen Firmen, wie Motorenfabrik Deutz,

A. E. G. und anderen gebaut. Sie werden meist in stehender Anordnung mit 1 oder 2 Zylindern vorwiegend als Zweitaktmaschinen mit Zylinderleistungen von 6 bis 50 PS geliefert. Wegen ihrer besonders einfachen Bauart, Wirkungsweise und Bedienung eignen sie sich für kleinere gewerbliche Anlagen an Land und zum Antrieb kleiner Land- und Wasserfahrzeuge.

In der 2. Hälfte des von uns betrachteten Zeitabschnitts begann die Verwendung der Dieselmaschine als Fahrzeugmotor. 1911 wurde das erste seefähige Motorschiff in Betrieb genommen. Nachdem einige weitere Anwendungen für Lokomobilen, Lokomotiven und Motorschiffe vorlagen, fand die Dieselmaschine als Schiffsmaschine eine bedeutende Förderung durch den Bau der Unterseeboote im Krieg, für deren Ueberwasserantrieb die Dieselmaschine wegen ihres geringen Gewichts und geringen Raumbedarfs am besten von allen Kraftmaschinen geeignet ist. Der Dieselmotor ermöglicht es, außer Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit auch anderen wichtigen Forderungen des Schiffsbetriebs in bezug auf Umsteuerbarkeit, Anfahrkraft, Unempfindlichkeit, zuverlässige und ungefährliche Brennstoffversorgung zu entsprechen. Durch ständige Verbesserungen der Konstruktionen wurde allmählich ein hoher Grad der Betriebssicherheit dieser Maschinen erreicht, der an den der altbewährten Dampfmaschinen heranreichte. Die wichtigsten Vorteile der Motoren vor den Dampfmaschinen sind der Fortfall der Dampfkesselanlage mit Feuerung und des dafür erforderlichen Personals, sofortige Betriebsbereitschaft ohne Vorwärmung der Maschinen, bedeutend größerer Aktionsradius des Fahrzeugs bei Mitnahme des gleichen Brennstoffgewichts und leichte Uebernahme und Unterbringung des flüssigen Brennstoffs im Vergleich zur Kohle. Die Gesamtwirtschaftlichkeit des Motorenantriebs der Schiffe ist der des Dampfmaschinenantriebs ungefähr gleich. Entsprechend den besonderen Verhältnissen der Schiffsverwendung ergeben sich für die eine oder andere Antriebsart gewisse wirtschaftliche Vorteile. Die Nachteile der Dieselmaschine gegenüber der Dampfmaschine sind die höheren Anlagekosten und die Abhängigkeit der Brennstoffversorgung vom Ausland infolge des Mangels an Oelquellen in Deutschland. Die Forderung des Schiffs- und besonders des U-Boots-Antriebs nach großen Leistungen bei kleinstem Maschinengewicht führte zur Steigerung der Belastung der Maschinen und zur Erhöhung ihrer Drehzahl. So ergab sich die Anwendung der schnellaufenden Dieselmaschinen mit Umlaufzahlen bis zu 550 Umdr. Min. und Kolbengeschwindigkeiten, die weit über denen der ortsfesten Maschinen lagen. Der mittlere indizierte Druck

im Zylinder wurde bis 8,5 kg/cm² erhöht, während bei ortsfesten Maschinen 7 kg/cm² nicht überschritten wurden. Die hohe Belastung und Drehzahl erforderte die Verwendung hochwertigen fehlerfreien Materials. Als Schnelläufer wurden hauptsächlich Viertaktmaschinen gebaut, da eine entsprechende Umgestaltung der Zweitaktmaschinen größere Schwierigkeiten bereitet hätte. Die Schiffsmaschinen wurden sämtlich stehend ausgeführt, da sich liegende Maschinen im allgemeinen nicht für den Schiffsantrieb eignen. Außer von M. A. N. wurden schnellaufende Viertaktmaschinen von Daimler, Körting, A. E. G. und von der Danziger Werft gebaut. Sie leisteten als 6-Zylindermaschinen 250 bis 1750 PS. Die M. A. N. baute auch eine 10-Zylindermaschine mit 3000 PS Leistung. Von der Germaniawerft wurde auch eine umsteuerbare Zweitaktmaschine mit 1150 PS Leistung bei 390 Umdr./Min. gebaut. Nach dem Krieg wurden die als U-Boots-Motoren gebauten Motoren als ortsfeste Kraftmaschinen verwendet. Neben den Hauptantriebsmaschinen werden Dieselmaschinen auch als Hilfsmaschinen zum Antrieb von Dynamomaschinen, Kompressoren, Pumpen usw. an Bord benutzt. Beim Neuaufbau der deutschen Handelsflotte wurde die Dieselmaschine für den Großschiffsantrieb weitgehend verwendet. Die schnellaufenden Motoren arbeiten über Getriebe auf die langsamlaufenden Propellerwellen des Schiffes. Außer Zahnradgetrieben wurden von den Vulcan-Werken Hamburg Flüssigkeitskuppelungen in Verbindung mit Zahnradgetrieben angewandt, die durch Füllen und Entleeren der Flüssigkeit das Anfahren und Umsteuern der Propeller ohne Manöver mit den Motoren ermöglichen, und außerdem die gewünschte Untersetzung der Drehzahlen bewirken. Die notwendige weitere Steigerung der Leistung der Motoren für den Antrieb der großen Seeschiffe führte zur Entwicklung des doppelwirkenden Schiffsdieselmotors. Die Zylinderleistungen der modernen Motoren betragen 500 bis 1200 PS. In einzelnen Fällen sind Zylinderleistungen von 2000 PS für Schiffsdieselmotoren verwirklicht worden. Die Drehzahlen liegen zwischen 85 und 140 Umdr. Min. Als Brennstoffeinbringung ist die kompressorlose Einspritzung allgemein zur Anwendung gelangt. Sowohl Zweitakt- als auch Viertaktverfahren sind in einer Reihe bewährter Schiffsdieselmotoren verwirklicht worden. Das Zweitaktverfahren ermöglicht besonders einfache konstruktive Lösungen und Ersparungen an Raum, Gewicht und Kosten, sodaß der doppeltwirkende Viertaktmotor als Schiffsmaschine dem Zweitakter unterlegen ist. Die zunehmende Einführung des Motorenantriebs ist außer in der Seeschiffahrt auch in der Flußschiffahrt festzustellen, besonders auf Strömen, auf denen zollfreies Dieselöl gefahren werden kann, z. B.

auf dem Rhein. In der neuesten Zeit wurden zum ersten Mal auch bei der Kriegsmarine größere Fahrzeuge mit Motorenantrieb versehen. Die der deutschen Marine durch den Friedensvertrag auferlegten Beschränkungen drängen zur Verwendung von Maschinenanlagen mit größten Leistungen bei geringstem Gewicht. Die deutsche Marine war seit jeher um eine Weiterentwicklung des Motorenbaues besonders bemüht. Schon im Jahre 1909 bestellte das Reichsmarineamt bei der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg und bei der Germaniawerft Kiel je eine 12000-pferdige Großölmaschine, deren Nürnberger Ausführung in der technischen Literatur weithin bekannt geworden ist. In neuester Zeit hat die Reichsmarine für die Kreuzer der Königsberg-Klasse teilweise und für die Panzerschiffe reinen Motorenantrieb durch kompressorlose Dieselmaschinen gewählt. Die Wellenleistung des Panzerschiffs „Deutschland" beträgt 54000 PS. An Land fand die Fahrzeugdieselmaschine am Ende der Berichtszeit Eingang als Antrieb von Lokomotiven und Triebwagen bei der Eisenbahn und als Antrieb für Kraftwagen. Die Reichsbahn führte zur Verminderung der Kosten kleine Diesellokomotiven für den Verschiebedienst auf Bahnhöfen ein. Für den Personenverkehr sind etwa 140 Triebwagen mit einer Durchschnittsleistung von 80 PS in Betrieb. Die Verwendung der Triebwagen hat sich besonders infolge des Rückgangs des Personenverkehrs auf manchen Strecken und des Wettbewerbs von Kraftwagen und Flugzeug bewährt, sodaß man für die Zukunft eine Umgestaltung des Personenverkehrs durch weitgehenden Einsatz von Triebwagen plant. Der neue mit Maybach-Dieselmotoren ausgerüstete Schnelltriebwagenzug auf der Strecke Berlin-Hamburg, der mit einer Antriebsleistung von 820 PS eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 121 km/h entwickelt, ist ein Anfang dieser Veränderungen. Im Zusammenhang mit der zunehmenden Elektrisierung der Reichsbahn dienen Dieseltriebwagen und Diesellokomotiven als Ersatz bei Stromstörungen und als Zubringerfahrzeuge auf Strecken, für die die Elektrisierung nicht lohnt. Nach langjährigen Versuchen ist es der deutschen Kraftfahrzeugindustrie gelungen, Fahrzeugdieselmotoren zur Verfügung zu stellen, deren Erfolge in wirtschaftlicher Hinsicht und bezüglich der Betriebssicherheit es ermöglicht haben, den Dieselmotor als Antriebsmaschine auch für Last- und Personenkraftwagen in großem Umfang zu verwenden. Die Mehrzahl der Fahrzeugdieselmotoren arbeitet nach dem Viertaktverfahren. Eine Ausnahme bilden die Gegenkolben-Zweitaktmotoren von Junkers mit 1100 bis 1400 Umdr./Min., die sich vor allem durch kurze Baulänge auszeichnen, da in einem Zylinder 2 Kolben übereinander arbeiten und der Michel-

Zweitaktmotor. Der wichtigste Vorteil der Fahrzeugdieselmotoren ist die Möglichkeit der Verwendung schwersiedender Kraftstoffe, die nicht nur billiger als Leichtöle sind, sondern vor allem praktisch feuersicher. Der Brennstoffverbrauch ist dem der Benzinmotoren um bis zu 30 v. H. überlegen. Als Mängel der Fahrzeugdieselmotoren sind der harte Gang der Maschinen infolge der höheren Kompressionsdrücke, hohes Gewicht, hohe Drehzahl im Leerlauf und weniger große Veränderlichkeit der Drehzahl bei Belastung, höhere Anlagekosten und die lästigen Auspuffgase vorhanden. Trotz dieser Nachteile ist der schnellaufende Fahrzeugdieselmotor dem Vergasermotor in den Fällen überlegen, in denen keine höchsten Ansprüche an den Fahrzeugbetrieb gestellt werden, wie bei Lastwagen und Feldbahnlokomotiven und zum Antrieb von Baggern, Motorpflügen usw.

Auch für den Antrieb von Luftfahrzeugen beginnt man, Dieselmaschinen zu benutzen, nachdem geeignete Konstruktionen von bedeutenden Firmen entwickelt worden sind, z. B. von Maybach als Luftschiffmotoren für das im Bau befindliche Zeppelinluftschiff und von Junkers für Flugzeuge. Die M. A. N. beschäftigt sich zur Zeit mit dem Bau eines 1300 PS-Dieselmotors für Luftschiffe. Die bei der Ausbildung der Fahrzeugmotoren gewonnenen zahlreichen Erfahrungen konnten bei der gleichzeitig betriebenen Weiterentwicklung der ortsfesten Dieselmaschinen ausgenutzt werden. Der Dieselmotor als ortsfeste Kraftmaschine mittlerer und größter Leistung fand an allen Stellen, die nicht infolge Vorhandenseins billigen Kraftgases der Gasmaschine vorbehalten waren, zweckmäßige Anwendung als Reserve- und Spitzenkraftquelle. In dieser Verwendung ist der Dieselmotorenantrieb wegen der sofortigen Betriebsbereitschaft und dem Fortfall der Betriebskosten bei Stillstand trotz der höheren Anlagekosten den Dampfkraftanlagen auch für große Leistungen wirtschaftlich überlegen (s. Gercke, Großdieselmotoren als Reserve- und Spitzenmaschinen von Großkraftwerken). Die ortsfesten Dieselmotoren werden im allgemeinen bis zu einer Größe von 3000 PS gebaut. Einige Sonderausführungen entwickeln Leistungen bis zu 15000 PS. Während für kleinere und mittlere Stärken vorwiegend der Viertaktmotor verwandt wird, kommen als Großdieselmaschinen ausschließlich Zweitaktmotoren mit etwa 25 v. H. Gewichtsersparnis bei gleicher Leistung in Betracht. Als Brennstoff wird vielfach Teeröl mit 9000 kcal. Heizwert verwandt. Das Anfahren der großen Maschinen mit Hilfe von Preßluft dauert 3 bis 4 Minuten. Die bekanntesten Dieselaggregate in der deutschen Großkrafterzeugung sind der 15000 PS-Dieselmotor im Kraftwerk Neuhof des Hamburgischen Elektrizitäts-

werks und die 2 Dieselmotoren mit je 12000 PS Leistung im Werk Hennigsdorf bei Berlin. Umfangreiche und kostspielige Versuche, bei der Verbrennungsmaschine ebenso wie im Dampfmaschinenbau, den hin- und hergehenden durch den rotierenden Antrieb zu ersetzen, führten zu den Konstruktionen der Gas- und Oelturbinen, in denen ähnlich den Dampfturbinen schnellaufende Schaufelräder durch die Verbrennungsgase beaufschlagt werden. Derartige Maschinen, die bisher nennenswerte Anwendung für die Krafterzeugung nicht gefunden haben, können bei günstiger Entwicklung in der Zukunft der Energiewirtschaft neue Vorteile bringen.

Bei einem Rückblick auf die obigen Angaben über die Vervollkommnungen der Verbrennungskraftmaschinen übersehen wir ein Gebiet der technischen Entwicklung, auf dem in der betrachteten Zeit seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts besonders große Fortschritte gemacht wurden, die geeignet waren, in der Kraftwirtschaft grundlegende Veränderungen zu verursachen. Innerhalb der letzten drei Jahrzehnte haben sich hier zahllose neue Möglichkeiten geboten, menschlichen Bedürfnissen nach Anwendung von Maschinenkraft für besondere Zwecke zu entsprechen. Der Verbrennungsmotor hat in erster Linie Verwendung als Kraftquelle für Fahrzeuge zu Lande, zu Wasser und in der Luft gefunden. Aber auch zum Antrieb ortsfester Arbeitsmaschinen hat sich der Motor bewährt, wenn schnelle Betriebsbereitschaft oder Unabhängigkeit von fremden Energiequellen erforderlich oder billige Motorentreibstoffe verfügbar sind. Der Motor als die Kraftmaschine, die die beste Ausnutzung der im Brennstoff vorhandenen Energie ermöglicht, würde in der deutschen Kraftwirtschaft in noch größerem Umfang zur Anwendung gelangt sein, als es bisher geschehen ist, wenn nicht der größte Teil der Motorentreibstoffe aus dem Ausland bezogen werden müßte. Die ersten Erfolge der Bemühungen, Motorkraftstoffe in Deutschland selbst zu erzeugen, haben am Ende des betrachteten Zeitabschnitts zu einer Erweiterung der Anwendung von Motoren mit ihren kraftwirtschaftlichen Vorzügen angeregt.

3. Wasserkraftanlagen.

Die möglichst weitgehende Ausnützung der verfügbaren Wasserkräfte, die sich im Kreislauf der Natur ständig von selbst aufs Neue darbieten, ist im Interesse der sparsamen Verwendung der nationalen Kraftquellen dringend geboten. In den ersten Jahren des 20. Jahrhunderts gelang es, wie wir in dem Abschnitt über die Veränderungen auf dem Gebiete der Energieerzeugung gezeigt haben, den Rückgang der deutschen Wasserkraftnutzung

aufzuhalten und mit Hilfe verbesserter Maschinenanlagen die Energie der sogenannten „Weißen Kohle“ der deutschen Kraftwirtschaft zur Verfügung zu stellen. Die Ausnutzung der Wasserkräfte in großem Umfang für die Energieversorgung des ganzen Reichs war erst möglich unter Heranziehung einer Reihe von Hilfswissenschaften, wie Gewässerkunde, Tiefbau und Stollenbau, Wasserkraftmaschinenbau und Elektrotechnik. Die Ausnutzung der Wasserkraft muß vielfach Hand in Hand gehen mit anderen technischen und wirtschaftlichen Arbeiten, wie mit der Schiffbarmachung der Flüsse oder dem Ausbau von Wasserstraßen.

Nach Versuchen mit einigen kleineren Anlagen in Bayern erfolgte die erste Ausnutzung der Wasserkraft in nennenswertem Umfang, wie oben erwähnt, im Jahre 1891 durch Erzeugung von 180 PS durch den Nackar bei Lauffen, von wo die gewonnene Energie mittels Drehstroms nach Frankfurt a. M. übertragen wurde. Durch die mit erträglichen Verlusten gelungene Fernübertragung wurde die für die Wasserkraftausnutzung ausschlaggebende Trennung von Erzeugungs- und Verbrauchsstelle verwirklicht. Die erste ständig betriebene Ueberlandzentrale, die die Wasserkraft in einem größeren Gebiet an Industrie und Landwirtschaft verteilte, wurde 1894 mit Maschineneinheiten von 500 PS in Betrieb genommen.

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Wasserkraftmaschinen in dem von uns betrachteten Zeitabschnitt sind in der allgemeinen Einführung und der Vervollkommnung der Turbinen begründet. Bei den seit alter Zeit benutzten Wasserrädern wird die Arbeit durch das Gewicht des Wassers geleistet, indem durch Füllung der einzelnen Zellen oder Schaufelräume das Rad einseitig belastet und in Umdrehung versetzt wird. Man unterscheidet ober-, mittel- und unterschlächtige Wasserräder, je nach der Stelle des Radumfangs, an der das Rad von dem Wasser beaufschlagt wird. Da mit der Gefällehöhe der Raddurchmesser und mit der Wassermenge die Größe der Schaufelkammern zunimmt, müssen die Räder schon bei verhältnismäßig kleinen Leistungen sehr große Abmessungen erhalten. Sie sind wegen ihrer geringen Umlaufzahl und ihres schlechten Wirkungsgrades für die neuzeitliche Wasserkraftnutzung ungeeignet. Eine zweite, ebenfalls veraltete Art der Wasserkraftmaschinen ist die Wassersäulenmaschine, die die Druckenergie des Wassers ausnützt. Im Gegensatz zu diesen Maschinenarten erhält das Wasser bei seiner Verwendung in den neuzeitlichen Turbinen in sogenannten Leitschaufeln eine bestimmte Richtung und Geschwindigkeit und wird dann auf die Schaufeln des Laufrades geleitet, an die es durch Veränderung von Größe

und Richtung seiner Geschwindigkeit die in ihm enthaltene Energie abgibt. Da der Durchmesser der Turbinenräder mit zunehmender Gefällehöhe, also mit wachsender Wassergeschwindigkeit, abnimmt, ergeben sich auch bei großen Wassermengen verhältnismäßig kleine Turbinenabmessungen. Nach der Richtung der Beaufschlagung und nach der Wirkungsweise des Wassers unterscheidet man verschiedene Turbinenarten. Je nachdem das Laufrad in achsialer, radialer oder tangentialer Richtung beaufschlagt wird, spricht man von Achsialturbinen, Radialturbinen und Tangentialrädern. Bei den Ueberdruck- oder Reaktionsturbinen besitzt das Wasser beim Eintritt in das Laufrad außer Bewegungs- auch noch Druckenergie, die innerhalb der Laufradschaufeln in Bewegungsenergie umgesetzt wird. Die Schaufelkammern des Laufrades sind daher stets vollständig mit Wasser gefüllt, und das Laufrad ist in der Regel durch ein Saugrohr mit dem Unterwasser verbunden. Diese Turbinen eignen sich besonders für kleine und mittlere Gefällehöhen. Demgegenüber herrscht bei den Freistrahlturbinen unter und über dem Laufrad der gleiche Druck, meist Atmosphärendruck, das Wasser besitzt bei Eintritt in das Laufrad nur Bewegungsenergie. In den Laufradschaufeln wirkt also ein freier, auf die Schaufelbleche drückender Wasserstrahl, der die Schaufelkammern nicht ganz ausfüllt und aus dem frei hängenden Laufrad in das Unterwasser hinunterfällt. Die erste leistungsfähige Ueberdruckturbine wurde nach der Erfindung des Franzosen Fourneyron 1834 in St. Blasien im Schwarzwald zum Antrieb einer Spinnerei eingebaut und leistete unter 108 m Gefälle 40 PS bei 2300 Umdr./Min. Nach Ausführung verschiedener Neukonstruktionen, unter anderen von Henschel & Sohn in Kassel 1837, erfand der Amerikaner Francis 1849 eine Radialturbine mit Saugrohr und äußerer Beaufschlagung, die nach Anbringung verschiedener Verbesserungen bis 1869 große Fortschritte bezüglich der Wasserströmungsverhältnisse, Zugänglichkeit und Regelfähigkeit brachte, und die bis zur Gegenwart verwandt wird. Nach Einführung der drehbaren Laufschaufeln zwecks Regelung der Turbine durch Veränderung der Schaufelweiten im Jahre 1870 durch Professor Fink verdrängte die Francisturbine auf Grund ihrer Vollkommenheit alle anderen Reaktionsturbinen. Sie wird heute als Langsamläufer, Normalläufer, Schnelläufer und Expreßläufer für 750 Umdr. Min. gebaut. Ihr Wirkungsgrad beträgt bis zu 85 v. H. Zur Ausnutzung kleiner Gefälle erfand Prof. Kaplan 1912 in Brünn eine später weiter verbesserte Turbine, in der das Wasser ähnlich den Francisturbinen durch ein Leitrad einströmt, dann aber ohne strenge Führung nach Umkehr in achsiale Richtung

auf ein Laufrad wirkt, das die Form eines Schiffspropellers hat. Diese Kaplan- oder Propellerturbine, deren Konstruktion lange geheim gehalten wurde und erst 1920 an die Oeffentlichkeit gelangte, kann mit liegender oder stehender Welle ausgeführt werden, besitzt einen hohen Wirkungsgrad und hat, wie aus folgender Uebersicht hervorgeht, eine große Schnelläufigkeit. Die „spezifischen Drehzahlen" sind vergleichbare Umlaufzahlen der verschiedenen Turbinenarten unter Zugrundelegung gleichen Gefälles und gleicher Leistung. Nun haben die Turbinenarten die folgenden spezifischen Drehzahlen:

Tangentialrad mit einer Düse	12 bis 30
Francis-Langsamläufer	50 bis 100
Francis-Normalläufer	100 bis 200
Francis-Schnelläufer	200 bis 300
Expreßläufer	300 bis 500
Kaplan- oder Propellerturbine	500 bis 800

Als erste Freistrahlturbine ist das Löffelrad des Schweizers Zuppinger vom Jahre 1846 anzusehen. Die heute benutzte Form entspricht der von dem Amerikaner Pelton 1880 erfundenen Turbine mit doppelförmigen Schaufeln mit mittlerem Strahleintritt und Ablenkung des Wassers nach beiden Seiten. Die Beaufschlagung erfolgt nur durch eine oder mehrere Düsen in tangentialer Richtung. In neuerer Zeit wurde eine Strahlturbine ausgebildet, bei der das Wasser nach Einführung durch einen Leitapparat zunächst die Laufradschaufeln der einen Radhälfte durchströmt, dann durch das Innere des trommelartigen Laufrades fließt und dann die gegenüberliegenden Schaufeln von innen und damit das Rad ein zweites Mal beaufschlagt. Diese 1917 von Prof. Banki erfundene Turbine kann für kleine und große Gefällehöhen und auch für große Wassermengen benutzt werden und hat Wirkungsgrade bis zu 87 v. H. ergeben. Zur Ermittlung der Schaufelformen der Laufräder werden Versuche mit Modellrädern in Versuchsanstalten ausgeführt. Entsprechend eingerichtete Modellversuchsstationen wurden seit dem letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts von größeren Firmen und Hochschulen unterhalten, z. B. von der Technischen Hochschule Dresden 1900, Darmstadt 1903, Berlin 1904, München 1911. Während bei der früheren Verwendung der Turbinen zum Antrieb von Mühlen oder Gleichstromerzeugern geringe Schwankungen der Drehzahl ertragen und durch Spannungsregler ausgeglichen werden konnten, stellen die in neuer Zeit anzutreibenden Drehstromgeneratoren hohe Anforderungen an die Innehaltung einer gleichbleibenden Drehzahl. Aus diesem Grunde war die Ausbildung feinfühliger Turbinenregler notwendig, die bei schwankender Belastung und bei schwankender Wassermenge durch Drosselung der Durchflußquerschnitte des

Leitrades Umlaufzahl und Gefällhöhe konstant halten. Bei den Peltonrädern erfolgt die Veränderung der zuströmenden Wassermenge durch eine Nadel, mit der der Düsenquerschnitt durch Hand- oder automatische Regelung verändert werden kann.

Ueber die Anlagen zur Sammlung, Stauung und Speicherung des Wassers, Zuführung zu den Turbinen und Ableitung nach Ausnützung der Energie wie über die Bauweise der Krafthäuser, in denen Turbinen und Stromerzeuger untergebracht werden, sind in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts reiche Erfahrungen gesammelt worden.

Die Wassermengen können für ihre Verwendung erfaßt werden:

a) im Flusse selbst, indem der Fluß durch ein Wehr angestaut wird, wobei der Stau bis zu einer ziemlich großen Strecke flußaufwärts sich bemerkbar macht,

b) durch einen Kanal, z. B. einen sogenannten Obergraben, der das vom Wehr angestaute Wasser der Turbine zugeführt,

Die unter a) und b) angeführten Kraftwerkarten werden als Niederdruckwerke bezeichnet.

c) durch Stollen und Rohrleitungen bei Hochdruckwerken mit großem Gefälle. Das Wasser wird durch einen offenen Kanal, den Oberwasserkanal, oder einen Stollen zu dem sogenannten Wasserschloß geführt, von dem es durch eine geschlossene Rohrleitung, die Turbinenleitung, auf die Turbine geleitet wird. Der Höhenunterschied zwischen dem Oberwasserspiegel am Wasserschloß und dem Unterwasserspiegel am Krafthaus heißt die Fallhöhe. Bei dem Entwurf einer Wasserkraftanlage werden außer dem normalen Gefälle die Schwankungen der Wasserspiegel in den verschiedenen Jahreszeiten, besonders bei Niedrig- und Hochwasser festgestellt. Die in den einzelnen Monaten verfügbaren Wassermengen dienen zur Ermittlung der Ausnutzbarkeit der Anlage und des Bedürfnisses nach Ausgleichbehältern oder anderen Energiequellen. Ferner ist eine Untersuchung des Baugrundes, der Bewässerungsverhältnisse der Umgegend und der Schiffahrtsverhältnisse erforderlich. Die Wehre zum Anstauen des Wassers können als feste Dämme oder als bewegliche Konstruktionen ausgeführt werden. Die Talsperren bestehen aus festen Staumauern oder Staudämmen. Man unterscheidet Gewichtsstaumauern und Gewölbemauern, Erddämme und Steinbrockendämme. Die Talsperren, deren erste Ausführungen in Deutschland schon am Ende des vorigen Jahrhunderts zum Zwecke des Hochwasserschutzes entstanden, sind Bauwerke von gewaltigen Abmessungen, deren Konstruktionen auf eingehenden

wissenschaftlichen Forschungen beruhen. Mit den beweglichen Wehren kann der Wasserstand durch Oeffnen und Schließen der Sperre geregelt werden. Die Walzen- oder Trommelwehre bestehen aus Blechwalzen, die günstige Festigkeitsverhältnisse besitzen und durch Eigenkonstruktionen versteift sind. Die Walzen werden durch Zahnkranz und Zahnstange gehoben und gesenkt. Walzenwehre werden in Abmessungen bis zu 6 m Stauhöhe und 40 m Lichtweite ausgeführt. Die von der M. A. N. erbauten 2 Versenkwalzen am Kraftwerk Viereth am Main haben je 30 m Länge und 6 m Stauhöhe. Die Sektorwehre eignen sich besonders für große Längen. Sie werden durch den Auftrieb des Wehrkörpers gehoben und gesenkt und zeichnen sich daher durch einfache Bedienung aus. Die Sektorwehre können meist völlig niedergelegt werden, sodaß ein ungehinderter Durchgang für das Wasser z. B. bei Eisgang geschaffen werden kann. Ein Beispiel sind die 2 Sektorwehre der Wasserkraft- und Schleusenanlage bei Hemelingen an der Weser mit etwa 6 m Stauhöhe und je 54 m Länge. Bei großen Stauhöhen finden Schützenwehre Verwendung. Die Schützen bestehen aus versteiften eisernen Blechwänden. Die Stauhöhe kann bis zu 12 m, die Lichtweite bis zu 20 m betragen. Das Heben und Senken der auf Rollen in Schienen laufenden Schützen geschieht durch Ketten und Windwerke, unter Umständen mit hydraulischem Antrieb. Zum Durchlassen von Fischen und von Holzflössen können verschließbare Durchlässe oder Schleusen eingebaut werden.

Die Kraftwerkskanäle werden mit verschiedenen Querschnittsformen nach wirtschaftlichen und konstruktiven Gesichtspunkten ausgeführt.

Druckrohrleitungen können mit aufgelösten oder mit geschlossenen Rohrsträngen verlegt werden. Bei den aufgelösten Rohrleitungen sind Ausdehnungsstücke eingebaut, sodaß Kräfte in Achsenrichtung auf Festpunkte übergehen und nicht von den Rohrwandungen aufgenommen werden. Die Rohrleitungen werden aus Eisen, Beton oder Holz hergestellt. Die eisernen Rohre werden genietet, geschweißt oder nahtlos angefertigt. Während Eisenrohre sich durch große statische Sicherheit, gute Dichtheit und glatte Innenwände auszeichnen, sind Betonrohre besonders widerstandsfähig gegen Außendruck und hohes Wassergewicht. Kleinere Rohrleitungen werden nach der Verlegung mit Beton oder Erde unterstampft, große Leitungen müssen auf vorher ausgerichtete Sättel verlegt werden. Im Walchenseewerk sind zwischen Wasserschloß und Turbinenhaus 6 Rohrstränge in aufgelöster Bauweise mit je 4 Fixpunkten von je 430 m Länge bei 200 m Fallhöhe verlegt. Die von der M. A. N. ausgeführten Rohre haben oben

2,25, unten 1,85 m lichte Weite mit 10 bis 27 mm Wandstärke. Das Wasserschloß muß so eingerichtet sein, daß es als Ausgleichbehälter dient, wenn die Druckrohrleitungen vor den Turbinen plötzlich geschlossen oder geöffnet werden. Als Sicherung der Rohrleitungen gegen schädliche Wasserstöße sind ferner vor den Turbinen sogenannte Freilaufventile eingebaut, die das Wasser bei Ueberschreitung eines Sicherungsdruckes ins Freie abströmen lassen.

Die im Wasserschloß eingebauten Absperrorgane werden meist vom Kraftwerk aus durch Fernschaltung bedient. Der Verschluß der Kanaleinläufe und der Eingänge in die Turbinenkammern wird durch Einlaßschützen, Eisenrahmen mit Blech- oder Holztafeln, bewirkt. Vom Wasser mitgeführte Schwimmkörper werden durch Grob- oder Eisrechen und durch Feinrechen zurückgehalten. Für die Reinigung der Rechen sind bei den neueren Großkraftwerken Reinigungsmaschinen, Rechenputzer, in Benutzung.

Das Krafthaus umfaßt den Maschinenraum, Schalt- und Transformatorenraum, Werkstätte, Nebenräume und Wohnungen. Der Maschinenraum ist bei den neuzeitlichen Anlagen hell und geräumig, sodaß außer der Wartung auch Montage und Reparaturen der Maschinen ohne Behinderung erfolgen können.

Schalt- und Transformatorenanlagen werden besonders feuersicher ausgebildet. Sie werden neuerdings als sogenannte „Freiluftstationen" im Freien aufgestellt. Die modernen Großkraftanlagen enthalten einen Kommandoraum, in dem die erforderlichen elektrischen Schaltungen, vielfach unter Verwendung von Fernsteuerungen, ausgeführt werden können. Als Ergänzung der obigen Erklärungen sollen einige Angaben über die Einrichtungen der größten deutschen Wasserkraftwerke folgen.

Das Kraftwerk Aufkirchen der mittleren Isar wurde 1922 in Betrieb genommen. Es ist ein Laufwerk für Ueberlandversorgung und Bahnbetrieb mit einer Spitzenleistung von 36000 PS. Oberhalb der ersten Kraftstufe der Isar wurde durch Eindämmen eines 7 km² großen ebenen Geländes ein Speicher mit 29 Mill. cbm Inhalt für Wochen-Monats- und Jahresspeicherung geschaffen. Unterhalb der untersten Kraftstufe wurde ein Gegenspeicher mit 3 Mill. cbm Inhalt für den Abfluß aus dem Kraftwerk gebaut. Das Nutzgefälle beträgt etwa 26 m. Die Turbinenleitungsrohre haben einen Durchmesser von 5 m. Es sind Spiralturbinen mit stehender Welle für 127000 PS bei 167 Umdr./Min. eingebaut. Die Abnahmeversuche ergaben einen Höchstwirkungsgrad von 92,6 v. H.

Das Walchenseewerk ist ein Speicherwerk zur Dekkung der Spitzen von Ueberlandversorgung und Bahn-

betrieb mit einem Verhältnis von Spitzenleistung zur mittleren Jahresleistung von rund 6 : 1. Die Spitzenleistung beträgt 168000 PS. Das Werk wurde 1918 in Bau genommen und ist seit 1924 in Betrieb. Das Isarwasser wird in den Walchensee geleitet. Vom Einlaufwerk führt ein Druckstollen zum Wasserschloß der Rohrleitungen zum Kraftwerk. Im Kochelsee werden die Schwankungen des täglichen Wasserverbrauchs ausgeglichen. Das Nutzgefälle zwischen Walchen- und Kochelsee beträgt 200 m. Das Kraftwerk enthält 4 Drehstromsätze mit horizontalen Doppelspiralturbinen von je 24000 PS bei 500 Umdr./Min. und 4 Peltonturbinen mit je 2 Laufrädern und 2 Düsen pro Rad, gekuppelt mit Einphasengeneratoren für je 18000 PS bei 250 Umdr./Min. von Voith. Die Turbinen erreichten Wirkungsgrade bis zu 91 v. H.

Das Murg-Schwarzenbachwerk im badischen Schwarzwald ist ein Pumpspeicher-Spitzenkraftwerk für die Ueberlandversorgung Badens. Es wurde 1926 mit einer Spitzenleistung von 85000 PS in Betrieb genommen. Die Murg, ein aus dem nördlichen Schwarzwald kommender Nebenfluß des Rheins, wird in 320 m Höhe über der Rheinebene durch ein 17 m hohes Wehr zu einem Becken angestaut, von dem das Werkwasser in 5,6 km langem Stollen dem Wasserschloß zufließt. Von dort wird das Wasser mit 146 m Nutzgefälle in zwei Druckrohren den 5 Spiralturbinen mit liegender Welle mit einer Leistung von je 7250 PS zugeleitet. Zwecks gleichmäßiger Wasserversorgung der am Unterlauf der Murg liegenden Werke ist ein Ausgleichbecken neben dem Krafthaus vorhanden. Im Schwarzenbach, einem Nebenfluß der Murg, befindet sich die Schwarzenbachtalsperre, von der das Wasser in einem 1,8 km langen Stollen dem Wasserschloß zufließt. Von dort führt ein Rohrstrang nach den 2 Drillings-Peltonturbinen mit liegender Welle von J. M. Voith und Escher-Wyss mit je 27000 PS. Mit den von den Turbinen betriebenen Generatoren sind Pumpen für 249 m Förderhöhe von je 10000 PS Leistungsaufnahme gekuppelt, die während der Nachtstunden mit Fremdstromantrieb Wasser aus der Murgdruckleitung in das Schwarzenbachbecken pumpen. Die Turbinen laufen dabei leer mit.

Das Kachletwerk in der Donau ist als Laufwerk für Schiffahrt und Ueberlandversorgung gebaut. Seine Spitzenleistung beträgt 68000 PS. Es wurde 1927/28 in Betrieb genommen. Es ist eine Niederdruckanlage in Verbindung mit dem Großschiffahrtsweg. Die Fallhöhe wird durch Aufstau um 9 m über eine Staustrecke von 25 km gewonnen. Das Wehr ist in dem Scheitel eines Donaubogens errichtet. Das Kraftwerk liegt im Einschnitt auf dem

inneren Ufer in geradliniger Achse mit dem Wehr. Die Schiffsschleuse befindet sich in der Sehne des Bogens. Als Kraftmaschinen sind 8 Propellerturbinen mit stehender Achse und Betonspirale und je 7450 bis 9320 PS Leistung aufgestellt.

Das Rheinkraftwerk Ryburg-Schwörstadt, dessen Bau 1927 begonnen wurde, befindet sich seit 1930 in Betrieb. Es ist ein Niederdruckkraftwerk, dessen Fallhöhe durch Aufstau des Rheins um rund 11 m gewonnen wird. Eingebaut sind 4 Kaplanturbinen mit senkrechter Welle von J. M. Voith und Escher-Wyss, die größten bis jetzt gebauten Kaplanturbinen mit einer Höchstleistung von je 35000 PS. Wehr- und Krafthaus sind in gleicher Richtung nebeneinander angeordnet, und das Stauwehr hat 4 Oeffnungen mit je 24 m Weite.

4. Windkraftanlagen.

Eine der ältesten Energiequellen der Erde ist der Wind. Schon vor über 1000 Jahren gab es Segelschiffe und Windmühlen. Seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts ist die Ausnützung des Windes zum Antrieb von Schiffen und von ortsfesten Maschinen ständig geringer geworden. Die starken Schwankungen der zur Verfügung stehenden Energie infolge der häufigen Aenderungen der Windgeschwindigkeit sind die wesentliche Ursache dafür, daß der Windantrieb trotz der langen Geschichte seiner Verwendung in der Energiewirtschaft der Gegenwart eine untergeordnete Rolle spielt.

An Stelle der altbekannten Windmühlen begann man in Deutschland in den 80er Jahren die von Amerika aus eingeführten Windräder oder Windmotoren zu verwenden, die eine weit bessere Ausnützung auch geringerer Windgeschwindigkeiten als die Windmühlen ermöglichen. Die Windturbinen sind vollständig aus Stahl ausgeführt und besitzen eine große Anzahl von Flügeln. Das von einer Eisenkonstruktion getragene Laufwerk der Turbinen ist mit einer selbsttätigen Regulierung ausgerüstet, die das Rad zur Beaufschlagung in den Wind dreht und bei übermäßiger Zunahme der Windstärke durch Herausschwenken aus der Windrichtung oder durch Verstellen der Flügel vor Beschädigungen schützt. Die Reguliereinrichtungen zur Sicherung gegen Sturmschäden sind in der verschiedensten Weise ausgebildet worden. Die Windturbinen arbeiten mit guter Betriebssicherheit und erfordern wenige Reparaturen. Bei Aufstellung der Windkraftanlagen ist zu beachten, daß der Wind völlig ungehinderten Zutritt zu dem Rad hat. Die Windturbine muß daher alle in der Umgebung befindlichen Gegenstände überragen. Die Windräder erreichen ihre Höchstleistung

bei etwa 8 m/s Windgeschwindigkeit. Größere Windstärken können in der Regel wegen der Gefährdung der Anlage nicht ausgenüzt werden . Nach der Statistik kommen im Inneren Deutschlands zur Krafterzeugung geeignete Windstärken in einer Häufigkeit vor, daß auch für moderne vervollkommnete Windturbinen durchschnittlich in 24 Stunden nur auf 6 bis 8 Betriebsstunden gerechnet werden kann, während an der Küste sich 8 bis 10 Stunden ergeben.

Die erzeugte Energie wird von dem Windrad durch eine im Traggerüst gelagerte senkrechte Welle in das Maschinenhaus übertragen, wo über Transmission oder starre Kuppelungen der Antrieb der Arbeitsmaschinen erfolgt. Die Windturbinen werden zum Antrieb von Mühlen, Pumpen für Landentwässerung, für Wasserversorgung von Gutshöfen und Ortschaften und in neuester Zeit auch zur Gleichstromerzeugung verwandt. Für den Windantrieb eignen sich besonders Betriebe, die auch in den Nachtstunden und ohne ständige Ueberwachung arbeiten können. Die Schwankungen der Drehzahl auch gut regulierender Windmotoren bilden bei der Stromerzeugung eine besonders große Schwierigkeit. Es sind Vorrichtungen erforderlich, die die Dynamomaschinen nach der Windgeschwindigkeit selbsttätig ein- und ausschalten. Die angetriebenen Maschinen sind klein. Eine Spitzenleistung von mehr als 150 kW konnte bisher nicht erreicht werden. Anlage- und Betriebskosten steigen mit der Vergrößerung der Leistung. Wegen der geringen Leistungen ist eine Verbindung der vielen Einzelwerke durch Stromnetze bisher nicht möglich gewesen, während eine Kuppelung von Windmotoren mit fremdgespeisten Elektromotoren und mit Akkumulatorenbatterien zur Aushilfe bei Flauten vielfach ausgeführt wurde. Eine Aufspeicherung der gewonnenen Maschinenarbeit zwecks Ausgleich der Leistungsschwankungen konnte ohne übermäßige Verluste noch nicht ausgeführt werden. In neuester Zeit sind Entwürfe über gewaltige Anlagen zur Ausnützung der Windkraft mit 250 m hohen Türmen für Leistungen bis zu 10000 kW entstanden, deren Ausführbarkeit allerdings noch umstritten ist.

An dieser Stelle muß auch die Kraftgewinnung aus dem Wind auf Schiffen erwähnt werden, der Betrieb der Segelschiffe. Die gewonnene Energie wird ohne Zwischenschaltung von Maschinen nur mit Hilfe der Takelage zum Vortrieb der Schiffe ausgenützt. Auch auf diesem Anwendungsgebiet ist die Windkraft durch die Maschinenkraft weit zurückgedrängt worden. Die stolzen Segelschiffe, die noch in der 2. Hälfte des vorigen Jahrhunderts mit nennenswertem Schiffsraum an der Handelsschiffahrt teil-

nahmen, sind aus dem modernen Seeverkehr größtenteils verschwunden. Der Segelschifftransport hatte sich für gewisse Ladungen, wie Erze und Salpeter, bei denen eine längere Fahrzeit erträglich und geringe Transportkosten besonders vorteilhaft waren, bis in die ersten Jahrzehnte unseres Jahrhunderts hinein erhalten. Um die Vorteile der neuzeitlichen Technik auch bei der Segelschiffahrt auszunützen, hatte man die alten Holzschiffe durch größere eiserne ersetzt, die ein höheres Fassungsvermögen hatten. An Stelle der hölzernen Masten wurden eiserne verwandt, die Hanfleinen wurden teilweise durch Stahlleinen ersetzt, die Bedienung der Takelage wurde durch technische Einrichtungen vereinfacht, um zur Herabsetzung der Betriebskosten die Stärke der Besatzungen verringern zu können. Durch den Einbau von Hilfsmaschinen zum Antrieb von Pumpen, Spills usw., vielfach auch für den behelfsmäßigen Schiffsantrieb bei Flaute, wurde die Betriebssicherheit der großen Segler verbessert. Alle diese Maßnahmen konnten aber die Schwächen der Segelschiffe im Wettbewerb mit den Dampfern nicht ausgleichen, sodaß der aus den untenstehenden Daten ersichtliche Rückgang im Bestand der Segelschiffe eintreten mußte. Nach dem Kriege wurden Versuche unternommen, mit Rotoren, neuartigen Schiffsaufbauten, die unter Anwendung neuer Erkenntnisse der Aerodynamik konstruiert waren, den Wirkungsgrad des Schiffes mit Windantrieb zu heben. Auch diese Bemühungen sind ohne praktischen Erfolg geblieben.

Bestand der als seegehende Kauffahrteischiffe betriebenen deutschen Segelschiffe.

Anfang 1881	4246	Schiffe	
Anfang 1891	2675	Schiffe	
Anfang 1901	2207	Schiffe mit	568 000 Br.-Reg.-T.
Anfang 1911	2371	Schiffe mit	453 000 Br.-Reg.-T.
Anfang 1914	2408	Schiffe mit	433 000 Br.-Reg.-T.
Anfang 1924	1829	Schiffe mit	199 000 Br.-Reg.-T.
Anfang 1930	1557	Schiffe mit	152 000 Br.-Reg.-T.

5. Sonstige Kraftanlagen.

Wie aus den statistischen Angaben im ersten Abschnitt hervorgeht, wird in neuester Zeit die gesamte, in Deutschland verfügbare Maschinenkraft fast ausschließlich durch Dampf- oder Verbrennungsmaschinen, Wasser- oder Windkraftmaschinen erzeugt, während andere Arten der Krafterzeugung für die Energiewirtschaft ohne Bedeutung sind. Durch die Zählungen von 1895 und 1907 wurden Heißluft- und Druckluftmaschinen nachgewiesen, die mit einer verhältnismäßig kleinen Leistung an der Krafterzeugung beteiligt waren. Die Wirkung der Heiß-

luftmaschinen beruht auf der Ausdehnung der Luft bei Erwärmung. Die Maschinen bestanden aus einem Luftzylinder, in dem ein kolbenartiger Verdränger spielte. Das eine Ende des Zylinders wurde durch eine Feuerung erhitzt, das andere durch einen Wassermantel gekühlt. Die im Zylinder eingeschlossene Luft wurde durch den Verdränger abwechselnd nach der warmen und der kalten Zylinderseite getrieben. Die durch diese Temperaturschwankungen entstehenden Volumenveränderungen der Luft trieben einen Arbeitskolben hin und her, der in einem an den Luftzylindern angeschlossenem Arbeitszylinder lief. Die Kolbenbewegung wurde durch Kurbeltrieb auf eine Welle übertragen, auf der ein Schwungrad lief, und von der der Verdränger durch Balancier angetrieben wurde. Ein Geschwindigkeitsregler wirkte auf eine Drosselklappe zwischen Luft- und Arbeitszylinder. Es gab sogenannte offene Maschinen, die mit Auspuff arbeiteten und stets neue Luft ansaugten, und geschlossene Maschinen, die ständig dieselbe Luftmenge benutzten. Der Wirkungsgrad der Heißluftmaschinen war gering. Sie wurden nur für Leistungen von wenigen Pferdestärken in kleinen Betrieben verwandt. An Stelle von Heißluft wurde auch Kohlensäure in Maschinen mit ähnlicher Arbeitsweise als Kraftmittel benutzt.

Die früher vielfach verwandten Druckluftmotoren können nicht als reine Kraftmaschinen angesprochen werden, da zur Erzeugung der Druckluft schon ein Kompressor mit Kraftmaschinenantrieb erforderlich ist, und da Luftleitung und Druckluftmotor eigentlich nur eine Fortleitung und Umsetzung der vorhandenen Energie bewirken. Immerhin trieb der Druckluftmotor an Stelle anderer Kraftmaschinen Werkzeuge und Arbeitsmaschinen an, soweit Druckluft aus einem Netz oder von einem Kompressor vorhanden war. Bauart und Wirkungsweise der Druckluftmaschinen ist der der Dampfmaschinen ähnlich. Diese Maschinen wurden deshalb vielfach in Bergwerken und Tunnelbauten zum Antrieb von Gesteinsbohrmaschinen, Pumpen usw. angewandt. Aehnliche Maschinen wurden mit komprimiertem Stickstoff betrieben. Die Druckluftmaschinen sind durch die bequemeren und billigeren Elektromotoren wieder verdrängt worden.

In der Zeit der großen Entwicklung der Kraftwirtschaft wurden zahlreiche Maschinen entworfen und für Versuchszwecke gebaut, die auf ganz neuen Wegen die wirtschaftliche Erzeugung von Energie erreichen und zum Teil auch bisher unbenutzte Kraftquellen ausbeuten sollten. Das alte Problem der Gezeitenkraftwerke beruht auf der Ausnutzung der Schwankungen des Meeresspiegels bei Ebbe und Flut. Die deutsche Nordseeküste bietet zur

Anlage solcher Kraftwerke keine Möglichkeit, da der Gezeitenhub zu gering ist. Auch eine Ausnutzung der Beschleunigungsenergie der Meereswellen konnte bisher nicht verwirklicht werden. Ebenso kann die unmittelbare Ausnutzung der Sonnenwärme für Deutschland vorläufig keine Vorteile bieten.

Bei einem Rückblick auf die Entwicklung der krafterzeugenden Maschinen tritt die Bedeutung der Jahre seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts als einer Zeit wichtigster technischer Fortschritte deutlich vor Augen.

Die Kolbendampfmaschine war schon im 19. Jahrhundert zu einer betriebssicheren und leistungsfähigen Kraftmaschine entwickelt worden. Trotzdem haben die Einführung der Ueberhitzung, die Steigerung des Betriebsdrucks und eine große Zahl konstruktiver Verbesserungen neue Fortschritte gebracht, mit denen sich die Kolbenmaschine im Wettbewerb mit anderen Maschinenarten behaupten konnte. Auf dem Gebiete der Dampferzeuger wurden völlig neue Lösungen gefunden, die den früheren weit überlegen sind. Neben der alten Kohlenfeuerung kamen Kohlenstaub- und Oelfeuerung zur Anwendung. Von größter Bedeutung für den Ausbau der Großkraftversorgung war die Entwicklung der Dampfturbine im 20. Jahrhundert. Auf Grund der Vorrangstellung der Dampfanlagen in der deutschen Kraftwirtschaft übernahm die Dampfturbine den größten Teil der Leistung für die Elektrizitätserzeugung, nachdem es gelungen war, mit ihr weit größere Einheitsleistungen, als mit der Kolbenmaschine zu erzielen. Eine bedeutende Verringerung der Anlage- und Betriebskosten der Kraftanlagen war die Folge dieser Entwicklung. Als eine Kraftmaschine, die die Energieerzeugung mit Hilfe völlig neuartiger naturwissenschaftlicher Vorgänge bewerkstelligt, erschien in der von uns betrachteten Zeit die Verbrennungsmaschine auf dem Plan. Sie ermöglichte sogleich eine weit höhere Rohstoffausnützung als alle bisher vorhandenen Krafterzeuger. Als Oelmaschine wurde sie bald zu einer betriebssicheren Kraftquelle für kleinere und mittlere Leistungen ausgebildet, die als ortsfeste Maschine besonders häufig dort Anwendung fand, wo Elektrizität nicht verfügbar war. Als Oel- und als Gasmaschine ist sie für den Antrieb großer Generatoren und Arbeitsmaschinen ausgebildet worden. Der öffentlichen Krafterzeugung dient sie als jederzeit betriebsbereite Spitzenkraftquelle mit großer Leistung. Für den Antrieb leichter Fahrzeuge hat sich die Verbrennungsmaschine als besonders geeignet erwiesen. Die Entwicklung des Kraftverkehrs zu Lande, zu Wasser und in der Luft, deren Ende heute noch längst nicht erreicht ist, beruht auf der Ausbildung des Fahrzeugmotors. Während bisher der Zün-

dermotor auf diesen Verwendungsgebieten hauptsächlich benutzt wurde, ist man heute bemüht, den einfacheren und im Betriebe billigeren Brennermotor an seine Stelle zu setzen. Zur Verwertung der ausbaufähigen Wasserkräfte entstanden nach 1900 zahlreiche Wasserkraftwerke mit Wasserturbinen verschiedener neuer Konstruktionen. Für den Bau der Stauanlagen, der Rohrleitungen und Kanäle wurden wertvolle Erfahrungen gesammelt. Die technischen Fortschritte ermöglichten in der Zeit nach dem Kriege den raschen Ausbau der oben angeführten großen Wasserkraftwerke zum Ausgleich eines Teiles der Verluste des Reiches an Rohstoffen für die Energieerzeugung. Als letzte heute noch angewandte Energiequelle wurde die Windkraft erwähnt. Trotz zahlreicher Versuche der neuzeitlichen Maschinentechnik, die Verwendungsfähigkeit der Windmotoren zu verbessern, ist es bisher nicht gelungen, den Wind zum Antrieb größerer Anlagen auszunutzen, da hier mehr noch als bei der Wasserkraft starke zeitliche Schwankungen des verfügbaren Rohstoffes einen gleichmäßigen Dauerbetrieb unmöglich machen.

C. Verteilung, Ausgleich und Umsetzung der Energie.

Die Wege, auf denen die Energiemengen von den Kraftmaschinen, in denen sie aus den Rohstoffen erzeugt wurden, zu den Arbeitsmaschinen oder den sonstigen energieverbrauchenden Einrichtungen geleitet werden, können nach der Energieform und der Verwendungsart sehr verschieden sein. Während die Windkraft auf dem Segelschiff ohne Kraft- und ohne Arbeitsmaschine ausgenützt wird, besteht die Energieleitung bei mechanischer Kuppelung von Kraft- und Arbeitsmaschine aus einer kurzen Welle, und die elektrische Energie wird vielfach durch weite Fernleitung fortgeführt. Da die Menge der zu einer bestimmten Zeit erzeugten und der gebrauchten Energie meist nicht übereinstimmen, sind Hilfsmittel gefunden worden, die es ermöglichen, Energiemengen eine Zeit lang aufzuspeichern, um so einen Ausgleich der Unterschiede herbeizuführen und dadurch Verluste zu vermeiden. Um Verteilung, Speicherung und Ausnutzung der verfügbaren Energie mit möglichst hohem Wirkungsgrad durchführen zu können, müssen mit Hilfe geeigneter Anlagen Umsetzungen der Energie aus einer Form in eine andere erfolgen. Die wichtigsten Maßnahmen, mit denen es im Lauf der Entwicklung den Bemühungen der Energiewirtschaft gelungen ist, wesentliche Ersparnisse an Energie zu erzielen, sind also:

a) Anwendung der Großkraftversorgung,
b) Energiespeicherung,
c) Verwendung von Maschinen für die Umsetzung von Energie in Arbeit mit höherem Wirkungsgrad, Kuppelung von Kraft- und Heizwerken,
d) Nutzbringende Verwertung von Abfallenergie.

Die Verbrauchskurven der Elektrizitätswerke zeigen über der Nachtbelastung, die die Grundlast bildet, als tägliche Periode die Mehrbelastung während der Arbeitszeit der Betriebe und die bekannten Belastungsspitzen am Morgen und Abend infolge des Lichtbedarfs. Die wöchentlich wiederkehrenden periodischen Schwankungen werden durch die Arbeitsruhe am Sonnabend und Sonntag verursacht. Die Jahresperiode der mittleren Monatsbelastungen enthält im Juni ein Minimum und im Dezember ein Maximum infolge der veränderlichen Lichtbelastung. Die Bestrebungen nach Energieersparnis führten daher auch zur vorübergehenden Einführung der Sommerzeit. Die Speicherung fügt ein elastisches Zwischenglied in die Energieversorgungsanlage ein, um eine Anschmiegung an die Bedarfsdeckung zu erreichen. Für die Anwendung bestehen folgende Möglichkeiten:

1. Speicherung der erzeugten Energie vor der Verteilung. Sie ergibt keine Erhöhung des Wirkungsgrades der Gesamtanlage. Sie kann erfolgen durch Umwandlung und Rückwandlung mit Hilfe umfangreicher Maschinenanlagen z. B. durch Laden und Entladen von Akkumulatoren, oder durch Umwandlung elektrischer Ueberschußenergie, Dampferzeugung und Dampfspeicherung oder durch hydraulische Pumpspeicherung. In keinem Fall bewirkt diese Art der Speicherung eine Verminderung des Rohstoffaufwandes.

2. Speicherung der Energie während der Erzeugung. Auf diese Weise können Vorteile bei der Energieerzeugung und eine Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades erzielt werden. So können durch Einschaltung geeigneter Wärmespeicher in Dampfkraftwerken die Arbeitsbedingungen für die Kesselanlage verbessert werden. Die Energieform wird hierbei nicht verändert.

3. Speicherung des Rohstoffes, z. B. Ansammlung von Brennstoffen für Wärmekraftanlagen oder Anlage eines Vorratsbeckens für Wasserkraftwerke.

Die Speicherung kann durch ihre Einrichtung ausdrücklich auf den Ausgleich gewisser periodischer Schwankungen abgestimmt sein, z. B. für Jahres-, Tages- oder kürzere Schwankungen. Speicheranlagen können auch so angewandt werden, daß eine Verschiebung von Belastungen von nebeneinander arbeitenden Werken erfolgt. Auf

diese Weise kann z. B. die in einem Wasserkraftwerk verfügbare Energie ständig weitgehend ausgenützt werden und die Deckung von Mehrbedarf und Lastspitzen Dampf- oder Dieselkraftwerken zugewiesen werden. Der Wert der Speicheranlage wird dadurch erhöht, daß die gespeicherten Energievorräte als Momentanreserve dienen können. Die Wirtschaftlichkeit der Speicherung steigt allgemein, je näher die Anlage am Verbrauchsort liegt. Beim Vergleich verschiedener Speicherungsarten ist zu berücksichtigen, daß der Kapitalaufwand für die Anlagen den erzielten Nutzen stark beeinflußt.

1. Elektrische Energie.

Nach Einführung der Kraftübertragung auf große Entfernungen unter Anwendung von Wechsel- und Drehstrom wurde die Kraftverteilung, wie im 2. Abschnitt berichtet, im ganzen Reich schrittweise ausgebaut. Die Uebertragungsspannungen und die Ausdehnung der Kraftnetze vergrößerten sich ständig, bis durch die heute vorhandenen Verteilungsanlagen der einzelnen Erzeugungs- und Verbrauchsgebiete und die unter ihnen bestehenden Verbindungen die sichere Stromversorgung des gesamten Reichsgebiets erreicht war.

Die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Großkraftübertragung ergibt sich aus dem Unterschied zwischen den Gestehungskosten einer kWh im Verbrauchsgebiet, wenn die elektrische Energie entweder am Fundort der Brennstoffe in Großkraftwerken erzeugt und mittels Hochspannungsleitungen nach dem Verbrauchsgebiet transportiert oder aber im Verbrauchsgebiet selbst aus den auf mechanischem Wege dorthin transportierten Brennstoffen erzeugt wird. Die Untersuchung ergibt, daß die wirtschaftliche Reichweite der elektrischen Großkraftübertragung im wesentlichen bestimmt wird durch:

1. die Spanne zwischen den Stromerzeugungskosten bei Groß- und Mittelkraftwerkserzeugung,
2. die jährliche Benutzungsdauer der dem Transport dienenden Fortleitungsanlagen (Umspannungswerke und Fernanlagen),
3. die Wertigkeit des zur Krafterzeugung verwandten Brennstoffs, d. h. die durch sie bedingte Höhe der für eine Wärmeeinheit aufzuwendenden Brennstoff-/Transportkosten,
4. die Art der zum mechanischen Brennstofftransport zur Verfügung stehenden Transportmittel (Eisenbahn, Schiff usw.).

Die Anwendung dieser Untersuchung ergibt zunächst ganz allgemein, daß die Versorgung eines Gebiets mit

elektrischer Energie aus einem Kraftwerk in seiner Mitte und abseits der Kohlenfundstätte höchstens dann gerechtfertigt ist, wenn als Brennstoff allein Steinkohle in Frage kommt, daß sie bei Erzeugung der elektrischen Energie aus Braunkohlenbriketts in den allermeisten Fällen, aus Rohbraunkohle grundsätzlich zu verwerfen und durch Fremdstrombezug aus den auf den Gruben liegenden Großkraftwerken zu ersetzen ist. Die wirtschaftliche Reichweite der elektrischen Großkraftübertragung ist infolge der fortschreitenden Entwicklung der Hochspannungstechnik immer mehr vergrößert worden.

Von Schulze (E. T. Z. 1926, Seite 296 ff.) wurden im Jahre 1925 für 5000 Benutzungsstunden pro Jahr bei Uebertragung einer Leistung von 30 000 kW bei $\cos \varphi = 0{,}75$ mit einer 100 kW-Doppelleitung nach dem Preisstand des Jahres 1925 folgende wirtschaftlichen Reichweiten des elektrischen Energietransports errechnet:

70 km bei Erzeugung aus Steinkohlen,
200 km bei Erzeugung aus Braunkohlenbriketts.

Bei größeren Entfernungen sind Bahn- oder Schiffstransport der Brennstoffe wirtschaftlich überlegen.

1915 machte Prof. Dr. Klingenberg den Vorschlag, die gesamte Elektrizitätsversorgung des Reiches auf wenige Kraftwerke zu stützen, die unmittelbar an den Fundstätten der Brennstoffe zu errichten wären. Diese Kraftwerke sollten durch Hochspannungsleitungen mit 100 kV Spannung untereinander verbunden werden. An geeigneten Stellen sollte die Weiterentwicklung an die bereits bestehenden Elektro-Unternehmen über Umspannungswerke erfolgen. Dieser Plan ist nicht zur Ausführung gekommen, da die Vertreter der örtlichen Interessen sich entschieden gegen ihn gewandt haben.

Die Verteilung der elektrischen Energie erfolgt in den einzelnen Bezirken durch ausgedehnte Hochspannungsnetze mit 220 bzw. 110 kV-Leitungen. Die Länge des Hochspannungsnetzes des R. W. E. mit 110 kV Spannung beträgt z. B. über 1000 km. Die Verbindung der Bezirksnetze, von denen sich die wichtigsten im Rheinland, Westfalen, Mitteldeutschland, Süddeutschland und Schlesien befinden, ist im Entstehen begriffen. Seit den ersten Anfängen der Stromabgabe an entfernt liegende Verbraucher in den 90er Jahren sind außer den elektrischen Fernleitungen zahlreiche Apparate und Einrichtungen zur Schaltung, Umsetzung, Speicherung und Ueberwachung der elektrischen Energie ausgebildet und in Betrieb genommen worden, die heute die sichere Stromversorgung gewährleisten. Für die Fortleitung der Elektrizität werden Freileitungen und Kabel benutzt. Die Freileitungen sind für höchste Spannungen verwendbar und billiger als Kabel.

Sie werden daher für Leitungen über Land fast ausschließlich angewandt. Die Leitungen werden meist aus Kupfer oder Aluminium, seltener aus Bronze oder Eisen in Form von massivem Draht oder von Seilen hergestellt. Für die neuen Hochspannungsleitungen werden kupferne Hohlseile verwandt, bei denen die Ausnutzung des Materials besonders günstig ist. Die an das Leitungsmaterial gestellten Anforderungen erstrecken sich auf elektrische Leitfähigkeit, mechanische Festigkeit, hohen Schmelzpunkt und niedrige Kosten. In den Boden verlegte Kabel kommen für die Stromverteilung in größeren Städten in Betracht, wo wegen der vorhandenen Bauten oder zur Erzielung höchster Betriebssicherheit Freileitungen nicht verlegt werden. Die Seele der Kabel besteht meist aus Kupfer, sie ist massiv ausgeführt oder aus dünnen Drähten verseilt. Die Schutzhülle setzt sich aus einer mehrere Millimeter dicken Schicht Isoliermaterial, einem nahtlosen Bleimantel und einer imprägnierten Schutzschicht aus Papier oder Faserstoff zusammen. Hochspannungskabel erhalten zur Vermeidung hoher Feldstärken im Isoliermaterial einen geerdeten Staniolbelag. Für höchste Spannungen, bei denen die Masse des festen Isoliermaterials bei wechselnden Stromstärken Mängel aufweist, werden in neuester Zeit Oelkabel verwandt, in deren Hohlräumen flüssiges Oel unter Druck als Isoliermittel dient. Alle Kabel werden bei der Verlegung in der Fabrik genauen Prüfungen auf Fehlerfreiheit unterzogen.

Besonders wichtige Einrichtungen der Verteilungsanlagen sind die Schalter. Die Schaltanlagen der Kraftwerke und Umspannwerke enthalten alle zur Regulierung, Schaltung, Prüfung und Messung erforderlichen Apparate. Die zu ihrer Betätigung angebrachten Hebel, Handräder usw. müssen aus Sicherheitsgründen von den stromführenden Teilen getrennt sein. In älteren Elektrizitätswerken wurde die Abtrennung durch eine Schalttafel erreicht, auf der die Bedienungseinrichtungen in übersichtlicher Anordnung verteilt waren. In modernen Kraftwerken werden Schalter, Meßwandler usw. in besonderen Schalthäusern untergebracht. Die Bedienung der Apparate erfolgt durch ferngesteuerte Motoren oder Magnete von der sogenannten Schaltwarte aus. Zum Ausschalten von Maschinen und Leitungen unter Niederspannung genügen Hebelschalter. Für Hochspannung haben sich die Oelschalter eingeführt, bei denen die Unterbrechungsstellen zur sicheren Löschung des Unterbrechungslichtbogens unter Oel liegen.

Die elektrische Energie, die aus Wirtschaftlichkeitsgründen unter Hochspannung über Land verteilt wird, muß vor der Zuführung zu den Verbrauchsstellen in Um-

spannwerken, vielfach in mehreren Stufen, auf niedrigere Spannungen umgeformt werden, da die Verwendung hochgespannter Ströme für einfache Kraft- und Beleuchtungszwecke große Schwierigkeiten bieten würde. Die Unterwerke der Großkraftversorgung übernehmen die Energie von der sogenannten „Landessammelschiene", die von den Großkraftwerken gespeist wird, und spannen sie von 110 oder 220 kV auf 15 bis 60 kV um. Die unter dieser niedrigen Hochspannung stehenden Bezirksnetze geben die Energie über weitere Umspannwerke an die Verbraucher ab. Die Transformatoren bestehen aus Körpern aus Eisenblech, die mit zwei Wicklungen versehen sind. Wird in die eine Wicklung der primäre hochgespannte Strom hineingesandt, so kann aus der anderen Wicklung der Sekundärstrom von einer der Windungszahl der Wicklung entsprechenden Spannung entnommen werden. Die Transformatoren werden für alle Leistungen bis zu 60000 kVA und mehr gebaut. Ihr Wirkungsgrad beträgt bis zu 99 v.H.

Nachdem in der ersten Zeit der Elektrizitätsverwendung ausschließlich Gleichstrom benutzt worden war, erfolgte die Kraftübertragung von Lauffen nach Frankfurt im Jahre 1891 mit Drehstrom von 16000 und 30000 V. Für die neuzeitliche Stromversorgung über große Entfernungen kommt ausschließlich Drehstrom in Betracht. Die Verbrauchsstellen werden in Parallelschaltung an das Netz angeschlossen, so daß alle die gleiche Spannung erhalten. Für Gleichstrom oder einphasigen Wechselstrom kann das sogenannte Zweileitersystem verwandt werden, für Drehstrom sind drei Leitungen erforderlich. Die Umformung von Dreh- in Gleichstrom geschieht durch Drehstrommotoren, die mit Gleichstromgeneratoren gekuppelt sind, stellenweise auch durch Quecksilberdampfgleichrichter. Einen Fortschritt gegen das auf die niedrige Verbrauchsspannung beschränkte Zweileitersystem bildet das Dreileiter- oder Nulleitersystem, das bei Gleich-, Wechsel- und Drehstrom angewandt werden kann. Das Verteilungsnetz besteht aus zwei Außenleitern, einem positiven und einem negativen, und einem Mittelleiter mit der Spannung null. Kleine Stromverbraucher können an die niedrige Spannung zwischen dem Nulleiter und einem der beiden Außenleiter angeschlossen werden, während stärkere Motoren und Apparate zwischen beide Außenleiter geschaltet werden. Die meisten Verbraucher erhalten dabei nur die Hälfte der Spannung, unter der die Stromverteilung erfolgt. Die Vorteile des Nulleitersystems liegen darin, daß die Leitungen infolge Auftretens geringerer Verluste mit geringerem Querschnitt verlegt werden können. Die Spannungen der Verteilungsnetze werden durch geeignete

Apparate auf gleichbleibender Spannung gehalten. Zum Schutze der elektrischen Leitungen vor übermäßiger Erwärmung bei Kurzschlüssen und Ueberlastungen werden Sicherungen eingebaut, die die gefährdeten Leitungsteile selbsttätig abschalten. Die früher ausschließlich zu diesem Zweck benutzten Schmelzsicherungen sind heute noch für niedrige und mittlere Spannungen und beschränkte Leistungen in Gebrauch. In die Hochspannungsnetze werden Ueberstromselbstschalter eingebaut, die durch Wirkung einer Federkraft ausschalten, sobald eine Sperrklinke durch die elektromagnetische Wirkung des Ueberstroms zurückgezogen wird. Dem Schutz gegen Ueberspannungen durch Wanderwellen dienen Funkenstrecken, die an die Leitungen angeschlossen werden.

Für den Ausgleich der Belastungsschwankungen werden mit Gleichstrom betriebene elektrische Akkumulatoren benutzt. Die Kraftspeicherung durch Akkumulatorenbatterien ist die älteste Form des Energieausgleichs. Die elektrische Energie wird in dem Akkumulator in chemische umgewandelt. Unter dem Einfluß des Stromes entstehen chemische Verbindungen, die nach Ablauf der Speicherzeit wieder aufgehoben werden, wobei die ursprüngliche elektrische Energie, vermindert um den bei den Umwandlungen entstandenen Verlust, zurückgewonnen wird. Allgemeine Anwendung haben die Bleiakkumulatoren gefunden, die aus gegeneinander isolierten präparierten Bleiplatten bestehen, die sich in einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten, oben offenen Gefäß befinden. Eine geladene Zelle besitzt eine Spannung von rund 2 Volt. Zur Erzielung höherer Spannungen werden mehrere Zellen zu einer Batterie hintereinandergeschaltet. In neuerer Zeit ist die für Transportzwecke besser geeignete Edison-Zelle zur Anwendung gekommen, die in völlig geschlossenen Eisengefäßen unterzubringen ist. Die Elektroden bestehen aus leichtem Material, Sauerstoffverbindungen von Eisen und Nickel, das in Kalilauge eintaucht. Die Spannung einer Zelle beträgt etwa 1,8 Volt. Die Verwendung der Akkumulatoren im Großkraftbetrieb wurde erst nach Anbringung von Verbesserungen ermöglicht, die die Leistungsfähigkeit bedeutend erhöht haben. Für den Betrieb mit Drehstrom müssen Ladeumformer eingeschaltet werden. Die Akkumulatoren dienen außer zur regelmäßigen Spitzendeckung auch als Reserve für Störungsfälle. Die Stadt Berlin verfügt in 15 Unterstationen über 55 Batterien, die zusammen 186000 kW 20 Minuten lang leisten und bei Ausfällen in der Krafterzeugung für kurze Zeit die Stromversorgung übernehmen können. Die Batterien werden in der Nähe der Verbrauchsstellen aufgestellt, sodaß bei ihrer Verwendung zur Spitzendeckung das Leitungsnetz von der

Spitzenleistung nicht beansprucht wird. Die Speicherung verursacht daher Ersparnisse an Kapital für die Anlage sowohl des Kraftwerks als auch der Verteilungseinrichtungen. Die Speicherung der elektrischen Energie in Großbatterien hat in neuerer Zeit an Bedeutung verloren, da auch Anlagen anderer Art zur Energiespeicherung und zur Bereitstellung von Reserven für Störungen in der Kraftversorgung zur Ausführung gekommen sind.

2. Dampfkraft.

Die Verteilung von Energie in Dampfform ist auf kleine Bezirke, wie abgeschlossene Fabrikanlagen, Werkstätten und Häuserblocks beschränkt geblieben. Zu den Hoch- und Niederdrucknetzen, die den Dampf zum Antrieb von Kraftmaschinen den einzelnen Betrieben der Fabriken zuführen, kommen Heizdampfnetze und Fernheizanlagen, die Dampf von geringer Spannung für Heizzwecke verteilen. In Industrieanlagen mit neuzeitlicher Wärmewirtschaft, die außer Kraft auch viel Heizdampf gebrauchen, wie Brauereien, Zucker- und Papierfabriken, chemische Fabriken, Waschanstalten usw., ist vielfach eine Verbindung von Kraft- und Heizdampfversorgung ausgeführt, die eine weitgehende Ausnützung der Dampfenergie gestattet. Im Gegensatz dazu hat bei öffentlichen Elektrizitätswerken die Heizkraftversorgung bis auf seltene Ausnahmen wenig Verwendung gefunden, obwohl die Kuppelung der Heizdampf- mit der Stromversorgung bei richtiger Anwendung sich als wirksames Mittel zur Produktionsverbilligung bewährt hat. Wenn die zu Heizzwecken benötigte Dampfmenge der für den Antrieb der Kraftmaschinen erforderlichen Dampferzeugung annähernd entspricht, werden Gegendruckmaschinen verwandt, deren Abdampf, unter Umständen mit Zusatz von Kesseldampf, die Heizanlagen speist. Wenn aber bei größeren Kraftanlagen nur ein kleiner Teil des für die Kraftmaschinen erzeugten Dampfes zu Heizzwecken gebraucht wird, ist es zweckmäßig, die Maschinen mit Kondensation zu betreiben und den Heizdampf zwischen Hoch- und Niederdruckstufe der Kraftmaschine zu entnehmen. Die Fortleitung der Wärme in Dampfform ist weit schwieriger, als die Uebertragung elektrischer Kraft. Die Anlagekosten für die Verlegung der Dampfleitungen mit Dichtungen, Dehnungsstücken, Abschlußorganen und Isolierung sind hoch, und die Betriebshaltung der Netze erfordert ständige Ueberwachung und Ausbesserung. Die Kosten für die Fortleitung des gleichen Dampfgewichts nehmen mit steigendem Dampfdruck erheblich ab infolge Verringerung der Leitungsweiten und Herabsetzung der Isolierungskosten wegen geringerer Abstrahlungsverluste. Die Ein-

führung des Hochdruckdampfes in der Zeit nach dem Kriege brachte daher auch für die Fortleitung der Wärme in Dampfform erweiterte Möglichkeiten. Die ersten Dampfleitungsnetze von verhältnismäßig großer Ausdehnung wurden schon zu Beginn des Jahrhunderts für Fernheizwerke verlegt. Größere Gebäudegruppen, besonders staatliche oder städtische Anlagen, wie Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser, auch Wohnhäuser werden mit Heizdampf versorgt, der an einer Zentralstelle erzeugt wird. Die in neuester Zeit angewandte Verbindung von Kraft- und Heizdampferzeugung war bei den älteren Anlagen nicht vorhanden. Vorteile der Fern-Heizdampfversorgung sind — außer dem energiewirtschaftlichen Gewinn durch Verbindung mit Kraftanlagen — Vereinfachung der Bedienung bei der Dampferzeugung, Fortfall der Transporte von Kohle und Asche in den einzelnen Gebäuden und Verminderung von Rauch- und Rußbelästigung. Trotz dieser Vorzüge ist nur eine verhältnismäßig kleine Zahl von Fernheizanlagen zur Ausführung gelangt, von denen einige im 2. Teil der Arbeit erwähnt wurden.

Der Speicherung von Energie in Form von Wärme, die erst nach dem Kriege in größerem Umfang Anwendung fand, dienen die Wärmespeicher. Man unterscheidet Dampf- und Heißwasserspeicher mit gleichbleibendem Druck und Speicher mit veränderlichem Druck. Die Gleichdruckspeicher bestehen aus eisernen Behältern unveränderlichen Inhalts oder mit beweglichen Glocken ähnlich den Gasometern, in denen der Dampf mit meist nur geringem Ueberdruck gehalten wird. Ein Teil des in den Speicher eintretenden Dampfes kondensiert, Kondensation und Wiederverdampfung bewirken den Ausgleich der Unterschiede zwischen Zustrom und Abnahme von Dampf. Häufige Verwendung fanden der Rateausche Speicher, der ursprünglich mit Eisenmassen, später nur mit Wasserinhalt betrieben wurde, ferner die Glockenspeicher nach System Balcke-Harlé und andere, ferner feststehende Behälter, deren Dampfdruck in geringen Grenzen schwankt, z. B. Bauart M. A. N. Die Speicher haben meist den Abdampf von Kraftmaschinen, die in unterbrochenem Betrieb arbeiten, aufzunehmen und bis zur Verwendung in ständig laufenden Abdampfmaschinen mit Kondensation zu speichern. Ist die zur Speisung der Abdampfturbine im Wärmespeicher verfügbare Dampfmenge nicht immer ausreichend, kann ein Hochdruckteil an die Turbine angeschlossen werden, dem mit Hilfe eines selbsttätig öffnenden Ventils Frischdampf zugeführt wird, wenn die Leistung der Abdampfturbine nicht ausreicht. Bei der Kesselspeisewasser-Speicherung wird das

durch Kesseldampf vorgewärmte Speisewasser in den unter Kesseldruck stehenden Speicher gedrückt, aus dem es in den Kessel gelangt. Bei sinkender Belastung der von dem Kessel gespeisten Dampfmaschine wird das Speisewasser von dem freiwerdenden Dampf erwärmt, der Speicher geladen, während bei Belastungssteigerung durch Schluß des Vorwärmedampfventils die Vorwärmung verringert wird. Das Laden und Entladen bewirkt also im Speicher Schwankungen des Mengenverhältnisses von warmem und kälterem Wasser. In dieser Weise können Spitzen bis zu 15 v. H. der Gesamtlast gedeckt werden. Der Wirkungsgrad der Speicher beträgt etwa 98 v. H. Die Gleichdruckspeicher sind bei hoher Belastungsdauer den Gefällspeichern überlegen.

Die Gefällspeicher mit veränderlichem Druck (Ruths-Speicher) verwenden erhebliche Druckänderungen zur Aufnahme oder Abgabe großer Energiemengen. Sie bestehen aus einfachen wärmeisolierten Behältern. Bei Einschaltung zwischen Hoch- und Niederdruckteil der Kraftmaschinen strömt der Dampf bei sinkender Belastung infolge Abschluß des Einlaßventils der Niederdruckstufe in den Speicher, während die Hochdruckstufe mit gleichbleibender Leistung weiterläuft. Bei Belastungssteigerung wird Dampf aus dem Speicher zur Versorgung der Niederdruckstufe entnommen. Der Dampf kann über ein Reduzierventil unter Umgehung der Hochdruckstufe unmittelbar in den Speicher treten, wenn der Kraftbedarf unter die Leistung der Hochdruckstufe sinkt. Die als Niederdruckstufe geschaltete Maschine, in der Regel die sogenannte Speicherturbine, muß für den Betrieb mit stark schwankendem Dampfdruck eingerichtet sein. Der Speicher bewirkt bei dieser Betriebsweise, daß der Kessel trotz der vorhandenen Lastschwankungen gleichmäßig belastet wird, sodaß Aufheizverluste vermieden werden. Die Speicher sind, besonders bei kurzer Benutzungsdauer, den Spitzendampfkesseln wirtschaftlich bedeutend überlegen. Bei kleiner und mittlerer Benutzungsdauer ist der Gefällspeicher dem Gleichdruckspeicher vorzuziehen.

Gas und Oel sind Brennstoffe, also Energien in unveredelter Form. Obgleich das Thema dieser Arbeit nur die Behandlung von Kraft, also veredelter Energie, vorschreibt, mußten die durch die Bereitstellung von Gasen und Oelen verursachten Strukturveränderungen einbezogen werden, da sie die übrigen Veränderungen ergänzen. Aus diesem Grunde sollen auch die in der Berichtszeit erfolgten Maßnahmen zur Gas- und Oelversorgung in Deutschland betrachtet werden.

Das Gas wurde zunächst nur zu Beleuchtungszwecken verwandt, erst in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts wurden Gasmaschinen in Betrieb genommen. Die Fernversorgung mit Leuchtgas wurde erstmalig in Deutschland im Jahre 1899 durch eine von Montigny nach Metz über 1,9 km Länge verlegte Leitung ausgeführt. Das Interesse an der Ferngasversorgung stieg, nachdem in Amerika mit Hochdruckleitungen zur Fortleitung von Erdgas günstige Erfolge erzielt worden waren. Die Vorteile der Gasverwendung für Kraft- und Wärmeerzeugung sind stete Betreibsbereitschaft, leichte Regelbarkeit und einfache Speicherbarkeit. Erhebungen bei einer Reihe deutscher Werke ergaben, daß die Erzeugungskosten in großen Werken wesentlich geringer als in kleinen Gaswerken sein können. Die Bemühungen um die Verbreiterung der deutschen Ferngasversorgung waren besonders stark in der Zeit nach dem Kriege. Eingehende Untersuchungen der deutschen Verhältnisse ergaben, daß die Fortleitung der in den Kokereien der Kohlengebiete erzeugten Gasmengen über Entfernungen bis zu 300 km mit wirtschaftlichem Erfolg möglich ist. Trotzdem hat sich eine Ferngasversorgung Deutschlands von wenigen Zentralstellen aus bisher nicht durchsetzen können. Nur etwa 10 v. H. der gesamten Gasabgabe, das sind 3,5 Milliarden cbm/Jahr, können als Ferngas betrachtet werden. Die Bergbaubezirke liefern 280 Mill. cbm/Jahr an die Städte, etwa 8 v. H. der gesamten Stadtgasmenge. Die wichtigsten Bezirke der Gaserzeugung sind: Ruhrgebiet, Zwickauer Revier, Saarrevier, oberschlesisches und Waldenburger Revier. In Sachsen besteht eine planwirtschaftliche Gasversorgung mit Fernwerken, wie Heidenau und Annaberg. In Thüringen wurden Ferngasverbände im Saaletal und am Harz gegründet. Lübeck deckt einen großen Teil seines Gasbedarfs aus Hochofenwerken und gibt Gas an einige Ostseebäder ab. Berliner Werke versorgen große Teile des Kreises Barnim. Hamburg ist mit dem Gas seiner Werke etwa seit dem Jahre 1908 im Unterelbegebiet stark eingedrungen.

In neuester Zeit erfolgt die Fortleitung des Gases über große Strecken in Rohrleitungen von 300 bis 500 mm lichtem Durchmesser, die für einen Druck von 25 at geeignet sind. Der Betriebsdruck richtet sich nach den zu überwindenden Entfernungen und wird durch Turbokompressoren erzeugt. Die Rohre werden in Gräben versenkt, die mit Hilfe von Grabenbaggern ausgehoben wurden. Die einzelnen Rohrlängen werden aneinandergeschweißt. Die wirtschaftliche Durchführung der Ferngasanlagen gelang erst durch die neuzeitliche Vervollkommnung der Schweißtechnik, die eine betriebssichere und billige Verbindung der Rohrlängen ermöglichte.

Zur Speicherung des Gases dienen Gasbehälter. Die älteren Behälter bestehen aus einer wassergefüllten Tasse aus Eisenblech oder Beton, in die eine Glocke aus Eisenblech eintaucht. In neuerer Zeit wurden Scheibengasometer nach der Bauart M.A.N. in bedeutender Größe ausgeführt, die aus einem zylindrischen eisernen Behälter bestehen, in dem sich das Gas unter einer vertikal beweglichen Blechscheibe befindet, die an ihrem Umfang durch einen Flüssigkeitsabschluß gegen die Behälterwand abgedichtet wird. Der größte Teil der Einrichtungen und Anlagen zur Aufbewahrung und Verteilung der Treibstoffe für Verbrennungsmaschinen ist entsprechend der Entwicklung des Kraftfahrwesens in Deutschland erst in den letzten Jahrzehnten entstanden. Schon vor dem Krieg befanden sich in den Seehäfen große Tankanlagen zur Aufbewahrung bedeutender Oelmengen zur Verwendung in Oelfeuerungen und Verbrennungsmaschinen. Nach dem Kriege ist die Einfuhr von ausländischem Oel und Benzin bedeutend gestiegen. Für die Abgabe dieser Brennstoffe wie der Produkte der inländischen Oel- und Benzingewinnung wurden zahlreiche Zapfstellen an Straßen, Flugplätzen usw. im ganzen Reich aufgestellt, die von zentralen Verteilungsstellen aus durch Kesselkraftwagen beliefert werden.

Die Umsetzung der Brennstoffenergie von Oel und Gas in Kraft durch die Verbrennungsmaschinen kann auf Anforderung sofort ohne zeitraubende Vorbereitungen erfolgen, denn die Maschinen können jederzeit anfahren, ohne im Reservezustand Energie zu verbrauchen. Aus diesem Grunde sind Verbrennungs-, besonders Dieselmaschinen für die Spitzenkrafterzeugung und als Reservekraftquellen für Störungsfälle gut geeignet. Ein Dieselmotoren-Spitzenkraftwerk erfordert aber sehr hohe Anlagekosten und ist trotz seiner großen wärmewirtschaftlichen Vorzüge anderen Wärmekraftquellen wirtschaftlich unterlegen, wenn nicht besonders billiges Treiböl, wie in Seehäfen, z. B. für das Diesel-Spitzenkraftwerk Hamburg-Neuhof, benutzt werden kann. Den Dieselkraftwerken fehlt jede Möglichkeit einer Energiespeicherung.

4. Wasserkraft.

Obgleich die Wasserturbinen schon vor über 100 Jahren erfunden wurden, begann die planmäßige und wirtschaftliche Ausnützung der Wasserkräfte erst um die Jahrhundertwende, da erst die von der Elektrotechnik geschaffenen Mittel, die erzeugten Energiemengen auf große Entfernungen zu übertragen, eine Verwertung der Wasserkraft ermöglichten. Denn die Wasserkräfte sind im allgemeinen an die Orte gebunden, an denen sie von der Natur

dargeboten werden. Der Rohstoff der Wasserkraft ist, soweit die Gewinnung großer Energiemengen in Betracht kommt, nicht geeignet, nach den Bedürfnissen des Verbrauchs fortgeleitet oder verteilt zu werden, da außer der Wassermenge die Höhe und die Gefälleverhältnisse die Leistung bedingen. Die Verwendung der Wasserkraft in kleinem Umfang für den Antrieb einzelner Fabriken kann vielfach an beliebiger Stelle der Flußläufe erfolgen. Die Wassergroßkraftwerke haben daher bei ihrem Betrieb zu beachten, daß die verstreut liegenden kleinen Krafterzeuger ausreichende Wassermengen erhalten. Die Wasserkraft ist mehr als die Wärmekraftquellen starken Beschränkungen durch Schwankungen der verfügbaren Höchstmengen unterworfen. In bestimmten Grenzen können diese Schwankungen durch Speicheranlagen ausgeglichen werden. Die bekanntesten sind die Talsperren. Für die Trinkwasserversorgung und Flußregulierung im Unterlauf wie für die gleichmäßige Wasserversorgung des an der Talsperre liegenden Kraftwerks wird das in schwankender Menge anfallende Wasser aufgestaut und dem Bedarf entsprechend verwertet. Das Staubecken kann als Tages-, Wochen- oder Jahresspeicher vorgesehen sein. Außer dieser Primärspeicherung kann ein Sekundärspeicher zum Ausgleich von Abnahmeschwankungen angelegt werden.

Billiger Abfallstrom oder Nachtstrom, z. B. von Wärmekraftwerken, wird mit Hilfe der hydraulischen Speicherung in hochwertigen Spitzenstrom verwandelt. Der billige Strom treibt während der Nachtstunden Wasserpumpen von vielfach sehr großer Förderleistung, die Wasser in ein hochgelegenes Staubecken befördern. Die aufgestauten Wassermengen werden in den hochbelasteten Tagesstunden in Wasserturbinen zur Stromerzeugung verbraucht. Der Wirkungsgrad der neuzeitlichen Speicherpumpen beträgt 0,85 v. H. Der Gesamtwirkungsgrad dieser Speicheranlagen schwankt mit den verschiedenen Umsetzungsverlusten. Er beträgt etwa 40 bis 50 v. H. Die Pumpenspeicherwerke können als Tages- oder Wochenspeicher eingerichtet sein.

Im Murg-Schwarzenbachwerk wird während der Nachtstunden das Wasser aus der Murg-Druckleitung mit Fremdstrom in das Schwarzenbachbecken hochgepumpt. Für diesen Zweck werden Zwillingspumpen von 7200 cbm/h Leistung und einem Kraftbedarf von 8300 PS gefahren, die über Getriebe mit den Turbinenwellen gekuppelt sind. Die Turbine läuft dabei leer mit.

Ein aus Generator, Turbine und Pumpe zusammengesetzter Maschinensatz kann auch mit senkrechter Welle ausgeführt werden, wie bei dem im Bau befindlichen ba-

dischen Schluchseewerk, das ebenfalls für Pumpspeicherung eingerichtet ist.

Die 1932 in Betrieb genommene Bleilochsperre in Thüringen dient außer Hochwasserschutzzwecken der Spitzenstromlieferung für thüringische, sächsische und preußische Bezirke. Ein Teil des Betriebswassers wird nachts mit billigem Ueberschußstrom verschiedener Dampfkraftwerke zurückgepumpt. Damit genügend Wasser für die Pumpen zur Verfügung steht, wurde unterhalb des Kraftwerks ein Ausgleichbecken errichtet. Die in jedem der beiden Maschinensätze vorhandene Pumpe leistet 100000 cbm/h bei einem Kraftbedarf von 22900 PS und einem Wirkungsgrad von etwa 85 v. H. Nach Berechnung und praktischen Erfahrungen hat der Ausgleich der Energieabgabe bei Zusammenschluß von Dampfkraftwerken und Pumpspeicherwerken eine Herabsetzung der Stromerzeugungskosten bis zu 20 v. H. zur Folge.

5. Sonstiges.

Die Uebertragung der Energie mit Hilfe von Druckluft ist schon im Abschnitt über die Erzeugung der Energie bei Erwähnung der Druckluftmotoren behandelt worden. Besonders im Bergbau und Tunnelbau haben im vorigen Jahrhundert diese Kraftnetze die alten Kraftübertragungsmittel, wie Gestänge, Seil- und Kettenzüge abgelöst. Noch heute sind für technische Zwecke ausgedehnte Preßluftnetze in Betrieb. Die meisten Industrieanlagen, die große Maschinen und Apparate enthalten, verfügen über eine Verteilungsanlage für Preßluft, die durch einen Kompressor in einer Zentrale gespeist wird und Anschlüsse in allen Betrieben hat. Die Druckluft findet außer zum Antrieb von Werkzeugen, wie Hämmern, Meißeln, Bohrmaschinen, Verwendung, z. B. zum Ausblasen von Werkstücken und Rohrleitungen, Luftversorgung von Brennern oder Kühlen von Maschinenteilen. Auch verschiedene Städte haben Veranlassung gefunden, Preßluftnetze zu unterhalten. Druckluft fand ferner vielfach Verwendung für die Gründung unter Wasser, z. B. bei Brückenbauten. Eine bewährte Anwendung der Druckluft ist die Rohrpost. Gegenüber Telephonnetzen ist die Rohrposteinrichtung wegen der hohen Anlagekosten für Verlegung der Rohre mit Hilfseinrichtungen und die Kompressoranlage stark unterlegen. Trotzdem werden in Geschäfts- und Verwaltungsgebäuden in neuester Zeit Rohrpostanlagen eingebaut, die zur Beförderung von Schriftstücken dienen. Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts erfolgte die Einführung der Druckluftbremse in Eisenbahnzügen. Sie hat sich als unentbehrliche Einrichtung zur Uebertragung von Kraft für die Betätigung der Bremsen vom Führerstand und den

Notbremsstellen aus bei allen schnellfahrenden Bahnen bewährt und wurde später auch für Güterzüge in Benutzung genommen.

Neben Druckluft wurde Druckwasser im vorigen Jahrhundert für die Kraftübertragung benutzt. Die Nachteile dieser Anlagen, wie Undichtigkeiten, schlechte Regulierfähigkeit, Störungen bei Frost, verursachten in den meisten Fällen und besonders für Uebertragungen auf große Entfernungen den Uebergang zur elektrischen Leitung.

Die in diesem Abschnitt erwähnten Einrichtungen der Energieversorgung haben nur geringen Einfluß auf die Strukturveränderungen in der Kraftwirtschaft ausgeübt. Die Anlagen, die meist für Spezialzwecke gebaut wurden, übertragen Leistungen, die im Vergleich zu denen der wichtigsten Kraftübertragungsmittel gering sind, und versorgen meist nur kleine Bezirke. Sobald Druckluft- oder Flüssigkeitskraftnetze infolge Weiterentwicklung des Betriebes eine erhebliche Ausdehnung ihres Umfangs erfahren müßten, würde wegen der dabei auftretenden Verluste und sonstiger Betriebskostensteigerungen wieder die elektrische Kraftübertragung überlegen sein.

Unter den technischen Einrichtungen zur Energieverteilung, deren Entwicklung von großem Einfluß auf den Verlauf der Strukturveränderungen in der Kraftwirtschaft gewesen ist, stehen seit Beginn des Jahrhunderts die elektrischen Anlagen an erster Stelle. Mit der elektrischen Kraftübertragung auf große Entfernungen kann ihrer wirtschaftlichen Vorzüge wegen keine andere Uebertragungsart in Wettbewerb treten.

Die Bedeutung der Spitzendeckung wurde schon früh erkannt. Aber erst in den Jahren nach dem Kriege sind zum Zwecke äußerster Sparsamkeit nach dem energiewirtschaftlichen Zusammenschluß großer Versorgungsgebiete Ausgleichsanlagen zur allgemeinen Anwendung gekommen. Für diese Energiespeicher haben sich den Bedürfnissen entsprechend verschiedene Formen bewährt. In jedem Fall ist es zweckmäßig, daß die Erzeugung der Spitzenkraft im Gegensatz zur Grundkrafterzeugung möglichst nahe am Verbrauchsort erfolgt. Wasserspeicher werden sich wegen der Schwierigkeit ihrer Unterbringung in unmittelbarer Nähe des Spitzenkraftbedarfs nur selten in wirtschaftlich günstiger Weise verwenden lassen. Dieselmotoren lassen sich als besser geeignete Spitzenkrafterzeuger in der Nachbarschaft der Verbrauchsgebiete aufstellen. Die geringsten Schwierigkeiten bei der Aufstellung bieten die elektrischen Batterien. Ruthsspeicheranlagen eignen sich im allgemeinen nur für kurzzeitige Belastungsspitzen, z. B. für Städte, nicht aber für große Landnetze, da sie für eine lange Dauer der Belastungsspitze

sehr groß und daher teuer gebaut werden müßten. Die Speicherturbinen der Ruthsanlagen können stets leer mitlaufen und jederzeit in Betrieb genommen werden. Die hydraulische Pumpspeicherung braucht als Schwerkraftspeicherung eine Anlaufzeit, während Dieselmotoren und Batterien jederzeit sofort verfügbar sind. Die an ein Fernübertragungsnetz angeschlossenen Speicheranlagen können auch mit örtlichen Spitzenkraftwerken verbunden werden. Speicheranlagen können auch in der Weise benutzt werden, daß eine Lastverschiebung zwischen parallel arbeitenden Werken erfolgt. Wenn z. B. eine Dampf- und eine Wasserkraftanlage nebeneinander arbeiten, so kann die Speicherung eine möglichst weitgehende Verwertung der hydraulischen Energie bezwecken. Die Lastverteilung der BEWAG ist, wie als Beispiel erwähnt sei, so geregelt, daß das Kraftwerk Klingenberg im allgemeinen die Grundlast fährt, während das neue Westkraftwerk die Versorgung in den Hauptbelastungszeiten übernimmt. Die Ruthspeicheranlage in Charlottenburg und in den Umformerwerken der Innenstadt untergebrachte Batterien übernehmen die Spitzendeckung.

Für deutsche Verhältnisse ergibt sich unter Annahme einer Benutzungsdauer der Grundkraftwerke von 7000 h und der Spitzenkraftwerke von 1200 h der Strom aus Braunkohlenwerken als Grundwerken, ergänzt durch Pumpspeicherwerke oder durch Steinkohlenspitzenwerke als die wirtschaftlichste Energielieferung. Wasserkraftwerke in Zusammenarbeit mit Pumpspeicherwerken oder Steinkohlenspitzenwerken können zu günstigen Preisen Strom abgeben, wenn sie besonders vorteilhaft ausgebaut sind. Für örtliche Stromnetze, z. B. in Städten, sind Steinkohlenwerke mit Ruthsspeichern vorteilhaft.

Ein Ueberblick über die technische Entwicklung der Einrichtungen für die Energieverteilung läßt vor allem die überragende Bedeutung der elektrischen Kraftübertragung für den Ausbau der neuzeitlichen Energiewirtschaft hervortreten. Erst seitdem am Ende des vorigen Jahrhunderts die Fortleitung des Stromes über große Entfernungen gelungen war, wurde eine einheitliche Kraftversorgung des ganzen Landes, die Errichtung von Großkraftwerken und damit eine Kraftwirtschaft im neuzeitlichen Sinne ermöglicht. Keine andere Energieübertragungsart konnte bisher mit der elektrischen in bezug auf Leistungsfähigkeit und Billigkeit in Wettbewerb treten. Wie wir sahen, beruht auch die wirtschaftlich vorteilhafte Ausnutzung der Wasserkraft ebenso wie die der übrigen Rohstoffe des Landes auf der Fortleitung des erzeugten Stromes vom Erzeugungsort zum Verbraucher. Der allmähliche Ausbau der Elektrizitätsverteilungsnetze für größere Uebertra-

gungsleistungen und in größerer Dichte ging mit der Veränderung der Kraftwirtschaftsstruktur Hand in Hand. Die Verteilung von Energie in Form von Dampf oder Gas konnte zweckmäßig nur für stark beschränkte Versorgungsgebiete erfolgen. Die hauptsächlich nach dem Kriege gelösten Probleme der Spitzendeckung und der Speicherung entsprachen den Gesichtspunkten höchster Sparsamkeit mit Rohstoffen und weitester Verringerung der Erzeugungskosten, die die Kraftwirtschaft in der jüngsten Zeit beherrschten.

D. Verbrauch der Energie.

Auch in dem großen Gebiet der kraftverbrauchenden Einrichtungen, der sogenannten Arbeitsmaschinen und Apparate, hat die Technik im ersten Viertel des 20. Jahrhunderts Neuerungen und Fortschritte erzielt, die grundsätzliche Umänderungen der bestehenden Arbeitsverfahren und Behandlung zahlreicher neuer Aufgaben zur Folge hatten. Von der Seite der Arbeits- wie von der der Kraftmaschinen gingen ständig neue Anregungen zur Konstruktion maschineller Anlagen aus, indem die verfügbare Maschinenenergie die Inbetriebnahme einer neuartigen Arbeitsmaschine ermöglichte oder zu einer neu geschaffenen Arbeitsmaschine eine zweckmäßig ausgebildete Kraftquelle entwickelt wurde.

1. Arbeitskraft.

Werkzeugmaschinen.

Im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts erschienen, teilweise nach amerikanischem Vorbild, die ersten Ausführungen einer neuen Art von Maschinen, die eine Vervollkommnung der Handwerkzeuge der Werkstätten, zunächst der metallverarbeitenden Betriebe, bildeten und als Werkzeugmaschinen in den folgenden Jahrzehnten eine führende Rolle bei der Industrialisierung der Produktionsbetriebe einnahmen. Da eine Aufzählung aller wichtigen Anwendungen dieser Maschinenart den Rahmen dieser Arbeit weit überschreiten würde, können nur einige Beispiele angeführt werden. Als sogenannte spanabhebende Metallbearbeitungsmaschinen kamen Drehbank, Bohr-, Fräs-, Hobel- und Stoßmaschinen zur Einführung, ferner Sägen, Scheren und Biegemaschinen. Für die verschiedenen Arten der Oberflächenbearbeitung wurden geeignete Stahlsorten hergestellt, mit denen die Leistungsfähigkeit der Maschinen bedeutend gesteigert werden konnte. Die sogenannten Schnellstähle vertragen eine große Arbeits-

hitze, ohne weich zu werden, eignen sich daher für große Schnittgeschwindigkeiten und für das Abtrennen starker Späne und zeichnen sich durch längere Schnittdauer aus. Die Güte der Arbeit der Werkzeugmaschinen war von ausschlaggebender Bedeutung für die Erfolge der Technik, denn die sauberen Arbeitsflächen der Lager, Getriebe und sonstigen Elemente vermindern die Gleitwiderstände und die Abnützung und steigern Wirkungsgrad und Lebensdauer der Maschinen. Der Prüfung der Arbeitsstücke mit Tastern und Lehren wurde daher besondere Beachtung bei der Benutzung der Werkzeugmaschinen geschenkt. Durch die Fortschritte der Maschinentechnik sind die Verfahren zum Schleifen von Werkzeugen und sonstigen Werkstücken mit Hilfe der Schleifmaschinen entwickelt worden. Für die Massenherstellung der Gewinde an Schrauben und Muttern wurden Gewindeschneidemaschinen konstruiert. Ihre weitere Vervollkommnung führte zur selbsttätigen Revolverdrehbank, die als Schraubendrehbank und Gewindeschneidemaschine arbeitet. Im 2. Jahrzehnt dieses Jahrhunderts und besonders nach dem Kriege stellte sich beim Uebergang zur Massenfertigung und zur Fließarbeit das Bedürfnis nach weiterer Steigerung der Leistungsfähigkeit bei Vereinfachung der Bedienung ein. Es führte zur Anwendung der selbsttätig auslösenden oder vollkommen selbsttätig arbeitenden Maschinen, der Automaten, die große Zeitersparnisse gewähren und bei Massenfertigung die Herstellungskosten stark verringern. In der Schmiedetechnik wurden mechanisch angetriebene Hämmer und Schmiedepressen für die Bearbeitung größter Werkstücke und für Spezialzwecke mit besonderer Regelbarkeit und hohen Arbeitsgeschwindigkeiten, für die Herstellung von Teilen, die nur wenig Nacharbeit erfordern, sogenannte Schmiedemaschinen ausgebildet, die teilweise in fortlaufendem Arbeitsgang das warme, zwischen Matrizen festgehaltene Werkstück unter Verwendung eines Kurbeltriebs stauchen. In den Sägewerken, Tischlereien und Zimmereien wurden die wenigen schon früher vorhandenen Holzbearbeitungsmaschinen durch elektrisch und in neuester Zeit einzeln angetriebene schnellaufende Arbeitsmaschinen ergänzt, die Hobel-, Fräs- und Schleifmaschinen, Drehbänke, Bohrmaschinen, feine Spezialmaschinen, wie Fournierhobelmaschinen, Schnitzmaschinen usw. Hilfsmaschinen zum Heranschaffen des Holzes, Fortschaffen des Schnittholzes und Absaugen der Späne wurden zur weiteren Verbesserung der Produktionsbetriebe in Benutzung genommen.

In ihren vielfältigen Verwendungsarten, von denen nur einige erwähnt worden sind, wurde die Arbeitsmaschine, die durch Ausnützung der Maschinenkraft die Lei-

stungsfähigkeit der Werkstätten erheblich steigern und die Kosten der Produktion stark verringern konnte, stets zu einer besonders wirksamen Waffe im Wettstreit der Erzeuger auf dem Arbeitsmarkt.

Fördermaschinen.

In der Fördertechnik konnten die Einrichtungen zum Heben und Fortbewegen von Lasten durch Einbau des Maschinenantriebs weitgehend verbessert werden, sodaß größere Lasten bewältigt, die zur Förderung notwendige Zeit verkürzt und Bedienungs- und Betriebskosten verringert wurden. Die zweckmäßige Ausbildung der einzelnen Maschinenelemente, wie Lager, Getriebe, Kuppelungen, Bremsen, Seile usw. wurde auf Grund neuer Arbeitsverfahren und unter Anwendung besonders geeigneter Baustoffe zum Teil von Spezialfabriken durchgeführt. Bei den alten Ausführungen maschinell angetriebener Förderanlagen wie Seilfahrten in Bergwerken war Druckluftantrieb, vereinzelt auch Druckwasserantrieb verwandt worden. An seine Stelle trat bald der Antrieb durch Dampfmaschine. Wegen des hohen Dampfverbrauchs wurde die neuzeitliche Dampffördermaschine mit Abdampfverwertung ausgestattet. Bei Aufzügen für kleinere Lasten und Personenaufzügen übernahm im 1. Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts der Elektromotor wegen seiner zahlreichen Vorzüge die Führung als Antriebsmaschine. Auch die Verbrennungsmaschine wurde in Anwendung gebracht, z. B. auf Baustellen bei vorübergehender Aufstellung. Für zahlreiche Produktionsbetriebe ergaben sich bedeutende Vorteile durch die Verwendung geeigneter maschinell angetriebener Nahtransportanlagen. Als sogenannte Dauerförderer wurden Förderschnecken, Wipprinnen, Rollbahnen, Becherketten und Bänder eingerichtet. Sie werden verwendet zur Bekohlung und Entaschung von Kesselhäusern, für Aufbereitungsanlagen, Speichertransporte, Belade- und Entladeanlagen und andere Zwecke. In den für Massenherstellung bestimmten mechanischen Werkstätten fand in der Nachkriegszeit das Transportband besonders vielseitige Anwendung bei der Durchführung der sogenannten Fließarbeit. Auch die Hubförderer, wie Winden, Krane und Bagger, die am Ende des vorigen Jahrhunderts schon in zahlreichen Ausführungen mit Dampfantrieb in Benutzung waren, wurden mit elektrischem Antrieb in bedeutend leistungsfähigeren Neukonstruktionen zur Verfügung gestellt. Für Werften und Montageplätze wurden Drehkrane für Lasten bis zu 250 t mit Hubhöhen und Ausladungen bis zu 70 m gebaut. Die Tragfähigkeit der Schwimmkrane wurde bis zu 400 t gesteigert. Die Anwendung der Bagger an den Küsten und auf Flüssen, in Tagebauten und auf sonstigen

Baustellen konnte durch Erhöhung der Tragfähigkeit und der Arbeitsgeschwindigkeit, durch zweckmäßige Ausbildung der Greiferwerkzeuge, des Auslegers, des Gestells und der Bewegungseinrichtung erweitert werden. Die Einführung des elektrischen Antriebs förderte auch die Anlage der Seilschwebebahnen für Lasten- und Personenbeförderung. Neben zahlreichen Lastförderbahnen aus der Vorkriegszeit und militärischen Anlagen an den Gebirgsfronten im Krieg sind die Bergbahnen zu erwähnen, die im letzten Jahrzehnt zur Personenbeförderung an verschiedenen Stellen, auch auf der Zugspitze, mit gutem wirtschaftlichen Erfolg angelegt wurden. Während die Reibungsbahnen und Straßenfahrzeuge in einem späteren Abschnitt behandelt werden sollen, sind hier die Elektrokarren zu erwähnen, die in neuerer Zeit als besonders zweckmäßige Beförderungsmittel für den Nahtransport sehr schnell zur allgemeinen Anwendung gelangt sind. — Die umfangreiche Anwendung der Maschinenkraft auf dem Gebiete des Förderwesens wurde durch technische Einrichtungen verursacht, die die Menschen bei den verschiedensten Arbeiten von schweren körperlichen Anstrengungen entlasten können.

Pumpen.

Um die Jahrhundertwende wurden zur Förderung von Flüssigkeiten fast ausschließlich Kolbenpumpen verwandt. Als Wasserhaltungsmaschinen in Bergwerken und als Druckpumpen für die Wasserversorgung der Städte waren große langsamlaufende liegende oder stehende Pumpen in Benutzung, die von Dampfmaschinen in Verbund- oder Tandemanordnung angetrieben wurden. Die größten Pumpen förderten wenig über 1000 cbm/h bis auf etwa 150 m Höhe. Nach Steigerung der Umlaufzahl wurde der Elektromotorenantrieb eingeführt. Die großen Pumpmaschinen wurden im ersten Jahrzehnt des Jahrhunderts weiter vervollkommnet. Als Antriebsmaschinen wurden auch 3fach-Expansions-Dampfmaschinen eingebaut. Durch die rasch zunehmende Anwendung der Kreiselpumpen wurden die Kolbenpumpen mehr und mehr verdrängt. Die Kolbenpumpe hielt sich, z. B. als Wasserwerksmaschine, nur dort, wo aus energiewirtschaftlichen Gründen der Dampfmaschinenantrieb beibehalten werden mußte. Die Pumpenkolben wurden meist unmittelbar mit der Dampfmaschinenkolbenstange gekuppelt. Die neuesten Konstruktionen haben vielfach stehende Bauart, wobei die Pumpe unter der Dampfmaschine im Schacht steht, sodaß an Saughöhe gespart wird. Auch für Spezialzwecke, wie zur Förderung von Schmutzwasser, sind Kolbenpumpen für große Fördermengen in Verwendung.

Zu Beginn des Jahrhunderts wurden die ersten Kreiselpumpen in Betrieb genommen, bei denen die eintretende

Flüssigkeit durch raschen Umlauf eines Kreiselrades im Pumpengehäuse infolge der auftretenden Zentrifugalkraft eine Drucksteigerung erfährt. Die Ueberlegenheit der Kreiselpumpen gegenüber hin- und hergehenden Pumpen besteht in der Eignung zur Förderung großer Flüssigkeitsmengen und in bedeutend geringerem Gewicht und Platzbedarf. Die Kreiselpumpen waren besonders für den sich rasch einführenden Elektroantrieb gut geeignet. Die in den ersten Jahren beobachteten Mängel der Kreiselpumpen, rascher Verschleiß und schnelles Nachlassen des Wirkungsgrades, konnten bald beseitigt werden. Schon im Jahre 1910 waren Kreiselpumpen mit 16 Druckstufen für eine Leistung von 100 cbm/h auf 610 m Höhe bei 1200 Umdr./Min. in Betrieb. Der Wirkungsgrad betrug 88 v. H. In neuster Zeit sind Kreiselpumpen mit sehr großen Abmessungen für Druckwasserspeicheranlagen von Wasserkraftwerken, z. B. für das Schwarzenbachwerk, gebaut worden. Die 1927 erbauten Pumpen für das Speicherwerk Niederwartha bei Dresden fördern 40000 cbm h auf 150 m mit einer Antriebsleistung von 27000 PS. Die große Anpassungsfähigkeit der Kreiselpumpen für die verschiedenartigen Bedürfnisse eröffnete neue Anwendungsgebiete. Für die Wasserversorgung wurden Pumpen mit selbsttätig arbeitender Schaltung verwandt, die keine ständige Wartung brauchen. In Bergwerken werden Hochdruck-Kreiselpumpen mit bedeutenden Abmessungen benutzt. In der Landwirtschaft hat sich der Bedarf an Kreiselpumpen für die Bodenentwässerung entwickelt. In letzter Zeit werden Kreiselpumpen auch von Turbinen, vielfach unter Zwischenschaltung von Zahnraduntersetzungen, angetrieben.

Die sogenannten Kreiskolbenpumpen, bei denen durch Drehung von Verdrängern im Pumpengehäuse der an die Saugleitung angeschlossene Gehäuseraum vergrößert und der mit der Druckleitung verbundene Raum verkleinert wird, und so Saug- und Druckwirkung ohne Verwendung von Ventilen erzielt werden, sind im Laufe der Berichtszeit in zahlreichen Konstruktionen auf den Markt gekommen und haben sich für besondere Verwendungsgebiete bewährt. Die Zahnradpumpen, bei denen Flüssigkeiten durch umlaufende Zahnräder gefördert werden, haben geringen Wirkungsgrad, sind aber wegen ihrer Einfachheit und Betriebssicherheit für gewisse Verwendungszwecke, wie als Schmierölpumpen und als Kühlwasserpumpen für Motoren gut geeignet.

Kompressoren.

Auch für die Kompression von Luft und Gasen standen um 1900 nur hin- und hergehende Maschinen stehender oder liegender Bauart zur Verfügung. Diese Kolbenkompressoren wurden in den folgenden Jahrzehnten durch

die Einführung der Turbokompressoren und Ventilatoren verdrängt, soweit niedrige und mittlere Drucke zu erzeugen waren, während sich für hohe Drucke die Kolbenmaschinen behauptet haben. So sind in der Kältetechnik noch heute die Kolbenkompressoren vorherrschend. Für die Verflüssigung von Luft und anderen Gasen sind Drucke von 200 bis 300 at erforderlich, die mit Kolbenkompressoren erzeugt werden. In der chemischen Großindustrie wurden in letzter Zeit Kompressoren für 1000 at Enddruck in Betrieb genommen, die mit 6 oder 7 Stufen arbeiten. Für die Regelung der Kompressoren wurden elektrische Einrichtungen ausgebildet, die die Antriebsmaschine ein- und ausschalten, sobald ein Mindest- oder Höchstdruck erreicht ist. In Hüttenwerken wurden zur Lieferung des Windes für Hochöfen und Konverter Gebläsemaschinen mit Luftzylindern mit bis 3 Meter Durchmesser aufgestellt, die bis 50000 cbm/h Luft geringen Drucks liefern. Diese einstufigen liegenden oder stehenden Kolbengebläse werden meist von Großgasmaschinen, vereinzelt auch von Dampfmaschinen oder Elektromotoren angetrieben.

Die Turbokompressoren und Turbogebläse wurden im ersten Jahrzehnt des Jahrhunderts für niedrige und mittlere Drücke eingeführt, denn die zunehmende Verwendung der Dampfturbine drängte zum Uebergang auf umlaufende Arbeitsmaschinen. Infolge der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Dampfkraftanlagen wurden in Hüttenbetrieben an Stelle von Kolbengebläsen mit Großgasmaschinenantrieb Turbogebläse aufgestellt, die durch gichtgasbeheizte Dampfkessel und Dampfturbinen betrieben werden. Auch bei der Versorgung der Städte mit Ferngas aus den Kokereien der Hochofenbetriebe werden Turbokompressoren mit bedeutenden Abmessungen verwandt. Die Konstruktionen der Turbokompressoren sind heute zu einem gewissen Abschluß gelangt, sodaß einschneidende Neuerungen nicht mehr zu erwarten sind. In neuester Zeit werden an Dieselmotoren Aufladegebläse angebaut, die die Ansaugluft auf 0,5 at komprimieren und dadurch die Motorleistung um 50 v. H. und mehr erhöhen. Sie werden durch Abgasturbinen angetrieben, die an die Auspuffleitungen der Motoren angeschlossen sind.

Die Ventilatoren sind umlaufende Gebläse für Luftdrücke bis etwa 500 mm Wassersäule. Sie können saugend oder blasend wirken. Auch die Anwendung der Ventilatoren wurde durch die Verbreitung des Elektromotors stark gefördert. Der Ventilator dient heute zur Luftversorgung von Kupolöfen, Schmiedefeuern usw., zum Absaugen von Gasen, Sägespänen und Aehnlichem, sowie zur Belüftung von Räumen aller Art.

Die Kapselgebläse wirken ähnlich, wie die Kreiskolbenpumpen durch Drehung von Förderflügeln, die auf zwei übereinander liegenden Wellen laufen. Die Umlaufzahl beträgt 300 bis 600 Umdr./Min. Diese Maschinen eignen sich zur Lieferung größerer Luftmengen bei mäßigem Druck, z. B. für Schmiedefeuer und Schmelzöfen.

Zur Kompression von Luft und Gasen bis auf 7 at Ueberdruck wurden die Rotationskompressoren mit 1 oder 2 Stufen konstruiert, in deren wassergekühltem zylindrischen Gehäuse sich ein exzentrisch gelagerter Läufer dreht, der in radialen Schlitzen dünne Stahlschieber trägt. Bei der Drehung des Läufers werden die Schieber nach außen geschleudert und bilden beim Ablauf über die Wand des Gehäuses einzelne Zellen, die sich bei jeder Umdrehung vergrößern und verkleinern und so die Kompression des Gases bewirken. Die Rotationskompressoren können mit Elektromotoren direkt gekuppelt werden. Auch kleine Einheiten ihrer Art arbeiten mit hohem Wirkungsgrad, sie zeichnen sich durch gedrängte Bauart und hohe Betriebssicherheit aus. Maschinen ähnlicher Bauart mit gleicher Arbeitsweise wurden auch als Vakuumpumpen ausgebildet.

Landmaschinen.

Die Landwirtschaft hat infolge ihrer stark konservativen Einstellung erst verhältnismäßig spät von der Maschinenenergie Gebrauch gemacht. Ihre Mechanisierung und Motorisierung machte auch der Technik außergewöhnliche Schwierigkeiten, da sich die landwirtschaftliche Bewirtschaftung den vielgestaltigen Eigenschaften des Bodens und des Klimas anpassen muß. An Stelle der Kraft der Zugtiere im Göpel oder vor dem Pflug fand in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Dampflokomobile Anwendung. Die deutsche Dampfpflugtechnik stand bald auf einer anerkannt hohen Stufe und dient noch heute der Landwirtschaft in zahlreichen Betrieben. Zu Beginn des neuen Jahrhunderts wurden die ersten Verbrennungsmaschinen in Benutzung genommen. Die Verwendung der Verpuffungs- und Dieselmaschinen als ortsfeste wie als Fahrzeugmotoren hat seitdem ständig zugenommen, sodaß die Motoren heute für sehr viele Landwirtschaftsbetriebe eine unentbehrliche Kraftquelle für Feld- und Hofarbeiten geworden sind. Mit dem Ausbau der Elektrizitätsverteilung ist auch der Elektromotor in Haus und Hof eingedrungen. Sogar auf dem Feld ist der Elektromotor im elektrischen Pflug mit Kabelanschluß verwandt worden. In beschränktem Umfang, entsprechend den örtlichen Verhältnissen dienen auch Wasserräder und Windturbinen der Krafterzeugung auf dem Lande. Die Vorteile der Anwendung der Maschinenkraft sind auch in der Landwirtschaft un-

verkennbar: Die Arbeit geht rascher als von Hand oder mit Gespannen, und sie kann vielfach auf eine besonders geeignete Zeit verlegt werden. Arbeitskraft und Zeit, Raum und Material werden gespart. Arbeitserleichterung und geringere Abhängigkeit von der Witterung werden erzielt, die Maschinenarbeit sichert eine größere Gleichmäßigkeit und ermöglicht eine Erhöhung der Erträge. Auf dem Felde dient die Kraftmaschine in erster Linie der Bodenbearbeitung. Neben die verschiedenen Arten des Pfluges trat nach neuzeitlichen Untersuchungen die Bodenfräse, die den Boden unter Aufwand größerer Kraft durch umlaufende Haken weitgehend zerkleinert. Ferner wurden Hackmaschinen, Kartoffel- und Rübenerntemaschinen gebaut. Diese Feldmaschinen, die Spezialfabriken in Massenherstellung preiswert erzeugen, werden entweder an von Lokomobilen gezogenen Drahtseilen oder seit dem zweiten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts auch von Kraftschleppern geschleppt oder sind selbst ähnlich den Schleppern als Kraftfahrzeuge ausgebildet. Die Einführung der Motoren in der Landwirtschaft erfolgte mehrere Jahre vor dem Krieg in dem für das Verständnis von Maschinen leichter zugänglichen Westen Deutschlands und erst 1913 in Mittel- und Ostdeutschland. Im Sommer 1915 setzte die Heeresverwaltung zahlreiche Pflüge mit Verbrennungsmaschinenantrieb zur Bestellung der besetzten Gebiete im Osten ein. Die meist auf Ketten laufenden neuzeitlichen Kraftschlepper treten auch auf der Landstraße an die Stelle der Tiergespanne. Als Kraftquelle für diese Feldmaschinen kommt in neuster Zeit der Dieselmotor immer mehr in Anwendung. Für die Ernte von Getreide und Gras wurden Mähmaschinen gebaut und mit verschiedenen Spezialeinrichtungen versehen, wie Bindemaschinen für die geschnittenen Halme und Ablegemaschinen. Die Mähmaschinen, für die der Einbau eines eigenen Antriebsmotors bisher nicht wirtschaftlich war, werden zu zweit oder dritt hintereinander durch Kraftschlepper gezogen. Der Behandlung des geschnittenen Grases dienen Heuwender und Heurechen. Für die Beregnung wasserbedürftigen Landes werden Pumpen betrieben. Schon vor dem Kriege waren Beregnungsvorrichtungen für Flächen bis zu 2000 ha in Benutzung. Die Verwendung einer Vereinigung von Mäh- und Dreschmaschine, des sogenannten Mähdreschers, ist nach amerikanischem Vorbild in den letzten Jahren auch an mehreren Stellen Deutschlands versucht worden. Eine allgemeine Einführung dieser landwirtschaftlichen Maschine mit gewaltiger Leistungsfähigkeit bei geringem Leutebedarf ist in Deutschland wegen der besonderen klimatischen und arbeitsorganisatorischen Verhältnisse nicht zu erwarten. Ein dringendes Bedürfnis zur Anwen-

dung der Maschinenenergie lag bei den Dreschmaschinen vor. Als Ersatz für den veralteten Drusch mit Dreschflegeln trat schon in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts die Dreschmaschine nach amerikanischem Vorbild. Zum Betrieb der Dreschmaschine wurde zunächst die Tierkraft mit Hilfe des Göpels und dann die Dampflokomobile angewandt. Nach dem Einzug der Elektrizität in die Landgebiete wurde der Elektromotor als bequemste und billigste Arbeitsmaschine zum Antrieb benutzt. Der Reinigung der Körner nach dem Ausdrusch dienen Spezialmaschinen, der Behandlung des Strohes die Strohpressen, die gemeinsam mit der Dreschmaschine angetrieben werden. Zur Verbesserung und Erleichterung des Gutsbetriebs wurden nach Einführung des Maschinenkraftantriebs zahlreiche Arbeitsmaschinen für Sonderzwecke ausgebildet und in Gebrauch genommen. Zum Antrieb dieser Maschinen mit beschränktem Kraftbedarf bewährt sich allgemein der Elektromotor als stets betriebsbereite und einfach zu bedienende Kraftmaschine. Soweit Elektrizität noch nicht zur Verfügung stand, wurden vielfach Verbrennungsmaschinen, Benzin-, Glühkopf- und Dieselmotoren zur Krafterzeugung verwandt. Zu den Arbeitsmaschinen für den Hofbetrieb gehören Maschinen zur Futterzerkleinerung, wie Häckselmaschinen und Mühlen, Wasser- und Jauchepumpen, Melkmaschinen und andere. Landwirtschaftliche Spezialbetriebe, wie Brennereien, Molkereien, Reparaturwerkstätten sind von dem Vorhandensein der Maschinenkraft abhängig. Für Mittel- und Kleinbetriebe wurde die Beschaffung und Benutzung der Kraft- und Arbeitsmaschinen auf genossenschaftlichem Wege ermöglicht.

Spezialmaschinen.

Da es weit über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen würde, sämtliche Arten von Arbeitsmaschinen zu erwähnen, die am Verbrauch der verfügbaren Maschinenenergie beteiligt sind, wurden nur die wichtigsten Kraftverbraucher verzeichnet. Außer diesen sind auf den verschiedensten Arbeitsgebieten, in zahlreichen Spezialfabriken und in sonstigen Einrichtungen und Anlagen Arbeitsmaschinen aller Art in Gebrauch. In Bergbau-, Erz-, Kohlen- und Kalk-Aufbereitung werden Pumpen, Mühlen und Siebe benutzt. Die Nahrungsmittelgewerbe, wie Zuckerfabriken, Brauereien, Bäckereien und Fleischereien betreiben Rührgefäße, Trockner, Mühlen, Kältemaschinen usw. In der Forstwirtschaft sind in neuester Zeit Sägemaschinen zur Verwendung gekommen. Die Häute- und Lederverarbeitung, Faserstoff- und Textiltechnik gebrauchen Waschmaschinen, Zentrifugen, Pressen und Walzen. Für die Keramik- und Glasherstellung werden Trocken-

und Brennöfen mit Hilfsmaschinen, Walzen, Schleif- und Poliermaschinen und Flaschenblasmaschinen betrieben. Ferner sind Druckmaschinen und die Apparate der Film- und Funktechnik zu erwähnen. Alle diese Arbeitsmaschinen sind mit unwesentlichen Ausnahmen in dem Zeitabschnitt, den diese Arbeit behandelt, neu entstanden oder kräftig weiterentwickelt worden, sodaß sich der Umfang des Kraftbedarfs innerhalb dieser Zeit gewaltig ausdehnen mußte.

Elektrische Kraft und Wärme.

Wie unter allen Formen der Maschinenenergie die elektrische in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts die stärkste Entwicklung erfuhr, so gelangte der Elektromotor, der um 1900, wie im ersten Abschnitt berichtet, noch spärlich Verwendung fand, in dieser Zeit zu seiner heutigen überragenden Bedeutung als Antriebsmaschine für die verschiedenartigen Bedürfnisse. Wenn auch in diesem Abschnitt entsprechend der Ueberschrift nur energieverbrauchende Maschinen behandelt werden sollen, so muß bei den Bemerkungen über die Verwendung der elektrischen Energie der Elektromotor in seiner Rolle als zur Arbeitsmaschine gehöriger Energieumformer Erwähnung finden. Die wichtigsten Vorzüge des Elektromotors, die seine Einführung in die verschiedensten Betriebe in kurzer Zeit verursacht haben, sind seine Regelmäßigkeit und Ueberlastbarkeit im Betrieb, geringer Raumbedarf, bequeme Handhabung, hohe Betriebs- und Feuersicherheit, wirtschaftlich günstige Krafterzeugung auch bei kleinen Leistungen, zweckmäßiger und rationeller Zusammenbau mit der Arbeitsmaschine und eine verhältnismäßig geringer Kapitalaufwand bei seiner Beschaffung. Elektromotoren eignen sich zum Antrieb fast aller Arbeitsmaschinen. In Walzwerken werden elektrische Antriebsmaschinen mit Leistungen bis 18000 PS benutzt, während als Werkzeuge für Spezialzwecke Kleinmotoren geringster Leistung verwandt werden. Wie der Elektromotor als ortsfeste Kraftquelle vielseitige Anwendung fand, so dient er zum Antrieb von Fahrzeugen aller Art. Als Lokomotivmaschine auf Vollbahnen für Personen- und Güterzüge, auf Kleinbahnen und unter Tage für Grubenbahnen ist er in Gebrauch. Für mittlere und kleine Leistungen ist der Elektromotor in Gewerbebetrieben aller Art als besonders geeignete Kraftquelle eingeführt. Für Leistungen bis zu 100 PS hat er sich in den meisten Fällen als sparsamste Kraftmaschine erwiesen. Er gilt für manche Handwerksbetriebe als Verteidigungswaffe im Existenzkampf. So konnte z. B. im Schwarzwald die hausindustrielle Seidenbandwirkerei nur durch die Anwendung elektrischer Kraft lebensfähig erhalten werden. Der Elektro-

motor kann auch in konstruktiver Hinsicht mehr als andere Antriebsmaschinen den vorhandenen Bedürfnissen angepaßt werden. So kann er, durch Fernschaltung gesteuert, für den Pumpenantrieb in Bohrlöcher auch unter Wasser hinabgelassen und in unzugänglichen Räumen oder Einrichtungen aufgestellt und längere Zeit ohne Wartung in Betrieb gehalten werden. Weitere Verwendung hat die elektrische Energie für Spezialzwecke in besonderen Arbeitsverfahren gefunden. In der Ledergerberei wurde durch Anwendung des elektrischen Stromes eine Herabsetzung der Verarbeitungszeit von Wochen oder Jahren auf 4 bis 5 Tage erzielt. 1922 waren in Deutschland 100 Elektrostahlöfen in Betrieb. In der chemischen Industrie benutzt man den elektrischen Flammenbogen zur Ammoniaksynthese, erzeugt man im elektrischen Ofen bei 3000° Calciumcarbid aus Calciumoxyd und Kohle und benutzt man elektrische Heizkörper zur Förderung von Reaktionen. In der metallurgischen Industrie erfolgt die Kupferreinigung durch Elektrolyse. In der Schmiede dient die Elektroesse als wirtschaftlich arbeitende und bequeme Wärmequelle. Die Lichtbogenschweißung hat allgemeine Anwendung gefunden. Wie wir oben zeigten, fand der elektrische Strom Einführung in landwirtschaftliche Betriebe als Kraftquelle mittels des Elektromotors, zur Beleuchtung und ferner zur Wärmeerzeugung für elektrische Futterzubereitung usw. Der Umfang der Anwendung der Elektrizität ist abhängig von den Stromkosten. Die Erzeugungskosten schwanken mit der Benutzungsdauer des Kraftwerks und setzen sich zusammen aus den Kosten für Betriebsmittel, Gehälter und Löhne, Instandhaltung, Verwaltung und Kapitaldienst. Als Kosten für die Stromerzeugung in Kraftwerken verschiedener Art wurden ermittelt:

Benutzungsdauer in h	Kosten in Pfennig/kWh für Steinkohlen-	Braunkohlen-kraftwerk	Wasser-
1000	5,38	5,00	11,00
2000	3,31	2,75	5,50
3000	2,63	2,00	3,66
4000	2,28	1,63	2,75
5000	2,08	1,40	2,20
6000	1,90	1,25	1,83
7000	1,84	1,14	1,57
8000	1,77	1,06	1,37

Die Kosten für die Verteilung erhöhen die Erzeugungskosten bei 200 km langer Fernleitung für 1 kWh bei
1000 h Benutzungsdauer um 1,85 Pfennig,
8000 h Benutzungsdauer um 0,23 Pfennig.

Einen Ueberblick über die Benutzungszeiten der Eigenanlagen und der öffentlichen Elektrizitätswerke geben die folgenden Aufstellungen.

Durchschnittliche Benutzung der Eigenanlagen im Jahre 1928.

Gewerbegruppe	Leistungsfähigkeit in 1000 kW	Erzeugung in 1000 kWh	Durchschn. Benutzungsdauer in h
Eisenerzeugende Industrie	866	3027	3495
Bergbau	1488	3969	2667
Chemische Industrie	855	3560	4164
Papierindustrie	328	1210	3689
Eisen- u. metallverarb. Industrie	439	586	1335
Textilindustrie	365	580	1588
Sonstige	464	793	1709

Durchschnittliche Benutzungsdauer der öffentlichen Elektrizitätswerke 1928.

Größenklasse, kW	Stunden
1— 100	1671
101— 1 000	1735
1001— 5 000	2009
5001—10 000	1686
über 10 000	2242

2. Fahrkraft.

Ein großer Teil der erzeugten Energie wird heute von den Einrichtungen des Verkehrswesens verbraucht. Während die Technik der Dampfeisenbahnen schon im 19. Jahrhundert zu hoher Vollkommenheit und Leistungsfähigkeit gelangt war, folgte für die übrigen Kraftverkehrsmittel zu Lande, zu Wasser und in der Luft erst nach 1900 der wichtigste Teil der Entwicklung auf den heutigen Stand. Die geographische Lage Deutschlands in der Mitte Europas bot unserem Verkehrswesen starke Anregungen zur Vervollkommnung der Durchgangslinien für den internationalen Verkehr. In energiewirtschaftlicher Hinsicht bestehen zwischen den verschiedenen Arten der Verkehrseinrichtungen bedeutende Unterschiede. Die Dampfeisenbahnen, Kraftwagen, Schiffe und Luftfahrzeuge führen auf ihren Fahrzeugen selbständige Primärmaschinen mit, die von der Fremdkraftversorgung unabhängig sind, aber einer Belieferung mit Brennstoffen bedürfen. Die elektrischen Bahnen jeder Art entnehmen die Fahrkraft dem Energieverteilungsnetz als echte Teilnehmer an der Kraftwirtschaft. Wie im 2. Abschnitt der Arbeit schon ausgeführt wurde, werden ohne Rücksicht auf diese Unterschiede alle kraftverbrauchenden Einrichtungen des Verkehrswesens in dem die Energieverbraucher betreffenden Abschnitt behandelt, da ihre Zusammenfassung aus vielen Gründen zweckmäßig erscheint.

Bahnen.

Den Beginn der Verwendung der Dampfeisenbahnen in Deutschland kennzeichnen die folgenden Daten:

1835 Nürnberg—Fürth,
1838 Berlin—Potsdam,
1839 Leipzig—Dresden.

Im Jahre 1900 waren schon etwa 90 v. H. der größten erreichten Streckenlänge der Staatseisenbahnen Deutschlands von 1914 in Betrieb. Nach den Eisenbahngesetzen von 1838 und 1882 waren die Haupt- und Nebenbahnen in Preußen dem Staatsbesitz und Staatsbetrieb vorbehalten. Aehnliche Bestimmungen wurden in den meisten übrigen deutschen Ländern durchgeführt. Die durch diese Maßnahmen bezweckte einheitliche Verwaltung der Bahnen großer Landesteile, die durch die Gründung der Deutschen Reichsbahn 1919 ihre Vollendung erfuhr, bewirkte eine zweckmäßige Normierung der technischen Einrichtungen, wie Oberbau, Wagenpark, Signalanlagen usw. Alle diese Anlagen erforderten, besonders in der Zeit der industriellen Entwicklung seit 1900, ständige Verbesserungen zur Bewältigung der Zunahme des Verkehrs mit Personen und Frachten. Wertvolle Verbesserungen brachte die Einführung elektrischer Apparate. Weichen und Signale werden auf neuzeitlich eingerichteten Bahnhöfen von Kraftstellwerken aus durch Fernsteuerung maschinell, meist durch Elektromotor, betrieben. Als Signalbeleuchtung bei Nacht wird elektrisches Licht verwandt. In neuster Zeit wird versucht, Lichtsignale auch bei Tag zu benutzen. Die für die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs besonders wichtigen Stations- und Streckenblockeinrichtungen werden elektrisch betätigt ebenso wie das im Bahnbetrieb erforderliche umfangreiche Fernmeldewesen. Auch für die nicht unmittelbar zum Fahrbetrieb gehörigen Einrichtungen der Bahnhöfe und des Bahnkörpers, wie Gepäckabfertigung, Be- und Entladung der Züge mit Gepäck und Post, Aufzüge für Personen und Gepäck, Brennstoff- und Wasserbeschaffung für die Lokomotiven, Lichtversorgung und Reinigung der Anlagen usw. fand die Maschinenkraft in zunehmendem Maße Anwendung.

Die Energie zur Fortbewegung der Wagen wird bei den Dampfeisenbahnen auf der Lokomotive erzeugt. Die Dampfgewinnung erfolgt in einem liegenden Heizrohrkessel mit kupfernen Rohren und kupferner Feuerbüchse. Die Rohre werden von der Wasserfüllung umspült, die aus dem Wasservorrat im Tender während der Fahrt oder aus Wasserleitungen auf Stationen ergänzt wird. Als Brennstoff für die Feuerung dienen in Deutschland fast ausschließlich Steinkohlen, Braunkohlen oder Briketts. Die Heizgase strömen aus der Feuerbüchse durch die Heizrohre in die Rauchkammer und werden dort unter Wirkung eines Blasrohrs durch den Schornstein entlassen. Der bei der Verdampfung des Wassers entstehende Dampf

wird in dem auf den Kessel aufgesetzten Dampfdom entnommen und den Schieberkästen der am Fahrgestell angeordneten Dampfmaschinen zugeführt. Entsprechend der Zuteilung durch die Schieber, die von der Steuerung betätigt werden, tritt der Dampf auf die vorderen oder hinteren Seiten der Kolben, die seine Energie durch das Triebwerk auf die Treibräder übertragen. Die bis jetzt in praktischer Verwendung befindlichen Lokomotiven fahren mit Auspuffbetrieb. Der Dampf wird nach Abgabe seiner Energie in den Zylindern über die Schieberkästen durch den Schornstein ins Freie abgeblasen, und für die Dampferzeugung wird ständig neues Wasser verwandt. Die verhältnismäßig geringe Ausnutzung der Brennstoffenergie durch die Dampflokomotiven ist zum Teil in dieser Betriebsweise begründet. Man bezeichnet die Dampflokomotive als Brennstoffverschwender, die durch die allgemeine Elektrisierung der Eisenbahn beseitigt werden müsse. An Stelle der alten Zwillingslokomotiven traten in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts die Verbundlokomotiven, die durch zweistufige Dampfexpansion in Hoch- und Niederdruckzylindern eine erhebliche Kohlenersparnis erzielten. Die neueren Lokomotiven enthalten 2 innenliegende Hochdruck- und 2 außenliegende Niederdruckzylinder. Die in dem Abschnitt über die Energieerzeugung geschilderten Vorzüge des Heißdampfes wurden auch im Lokomotivbetrieb durch Einbau von Ueberhitzern in die Rauchkammer nutzbar gemacht. Die weitere Entwicklung brachte eine Vergrößerung der Kesselheizfläche und die Heraufsetzung des Dampfdrucks. Die älteren Lokomotiven hatten 40 bis 70 qm Heizfläche und einen Dampfdruck von etwa 7 at. Jetzt beträgt die Heizfläche 200 bis 300 und mehr qm, der Dampfdruck 12 bis 16 at. Die Gewichte der Lokomotiven sind von etwa 50 t um die Jahrhundertwende auf über 100 t gestiegen. Die Leistung wurde von etwa 300 PS auf 1000 und 1500 PS erhöht. Die Geschwindigkeit für Güterzüge beträgt in Deutschland 45 bis 60 km/h, die Höchstgeschwindigkeit für Schnellzüge 100 bis 120 km/h. Neuere Bestrebungen der Reichsbahn im Lokomotivbau bezwecken die Einrichtung der Kohlenstaubfeuerung, die Einführung von Höchstdruckdampf unter Verwendung Schmidtscher Hochdruckkessel für 60 at und ferner die Anwendung des Turboantriebs mit Kondensation.

Die Verwendung elektrischer Energie im Bahnbetrieb begann 1881 mit der Inbetriebnahme der elektrischen Bahn Berlin—Lichterfelde, der Bahn Frankfurt a. M.—Offenbach 1883, ferner mit der Betriebseröffnung der ersten elektrischen Straßenbahn in Halle (Saale) im Jahre 1890. Es folgte die Elektrisierung mehrerer Klein- und Vorortbah-

nen und die Einrichtung zahlreicher städtischer Straßenbahnen sowie einiger Schwebebahnen. Bald begann auch der Bau der Berliner Hoch- und Untergrundbahn und anderer Schnellbahnen. Als Energie zum Antrieb der Bahnen wurde meist Gleichstrom hoher Spannung benutzt, der bei Schnellbahnen durch eine dritte Schiene neben den Fahrgleisen und bei den städtischen Straßenbahnen durch hochliegenden Fahrdraht den Fahrzeugen zugeführt wird. Im Jahre 1901 wurden von der Firma Siemens & Halske Versuche mit einer Schnellbahn zwischen Marienfelde und Zossen mit Antrieb durch hochgespannten Drehstrom begonnen, die Fahrgeschwindigkeiten von 160, später sogar 210 km/h ergaben und allen Erwartungen entsprachen. Der Drehstrom von 12000 und 15000 Volt wurde den Wagen über Fahrdrähte zugeleitet und anfangs in den Wagen durch Transformatoren auf niedrige Spannung gebracht, bis es gelang, geeignete Motoren auch für hohe Spannungen zu bauen. Zur weiteren Sammlung von Erfahrungen wurde die Hamburger Vorortbahn Blankenese-Ohlsdorf elektrisiert und mit 6000 Volt Wechselstrom betrieben. Alle bisher erwähnten Bahnen enthielten die Antriebsmotoren in Triebwagen. Für den elektrischen Betrieb auf Fernbahnen mußten elektrische Lokomotiven hergestellt werden, die auf der elektrisierten Strecke an die Stelle der Dampflokomotiven treten konnten. Im Jahre 1906 wurde eine elektrische Lokomotive mit drei Wechselstrommotoren für 6000 Volt von je 350 PS gebaut. Die Antriebskraft wurde durch Zahnradgetriebe den Rädern übermittelt. 1910 wurde die erste Fernstrecke Dessau—Bitterfeld in fahrplanmäßigem Betrieb mit elektrischen Lokomotiven für 15000 Volt befahren. Infolge der günstigen Ergebnisse erfolgte die Ausdehnung des elektrischen Betriebs auf die Strecke Magdeburg—Leipzig. In Bayern wurden die Strecken Reichenhall—Berchtesgaden und München—Garmisch-Partenkirchen elektrisiert. Die Elektrisierung der Fernbahnen wird in Deutschland ständig weitergeführt, und bei der Einrichtung von Städteschnellbahnen kommt in neuerer Zeit nur noch der elektrische Antrieb in Betracht. Die Vorzüge der elektrischen Bahn liegen sowohl in ihrer energiewirtschaftlichen Ueberlegenheit infolge erheblicher Brennstoffersparnisse als auch in der Annehmlichkeit des Fortfalls der Kohlentransporte und der Rauchplage. Auf schwach benutzten Strecken verwendet die Reichsbahn elektrische Triebwagen mit Stromversorgung aus mitgeführten Akkumulatoren. Als letztes Ergebnis der Entwicklung des Fernbahnwesens wurden in diesem Jahre dieselelektrische Schnelltriebwagen auf der Strecke Berlin—Hamburg für 160 km/h Höchstgeschwindigkeit in Betrieb genommen, die von 2 Stück

410 PS-Dieselmotoren angetrieben werden, die mit elektrischen Stromerzeugern gekuppelt sind, deren Strom den Fahrmotoren zugeleitet wird. Zur Ueberwindung von Steigungen über 1 : 25 müssen Zahnradlokomotiven benutzt werden, die ein Zahnrad enthalten, dessen Zähne zur Vergrößerung der Reibung in die Speichen einer zwischen den Schienen liegenden Zahnstange eingreifen. Als erste Zahnradbahn wurde 1871 die Bahn auf den Rigi mit Dampfantrieb eröffnet. Bald ging man auf den elektrischen Antrieb bei Bergbahnen über und begann schon in den 90er Jahren den Bau der elektrischen Jungfraubahn. Es folgten zahlreiche elektrische Bergbahnen, auch in Deutschland, bis zum Bau der Zugspitzbahn in neuester Zeit. Mit elektrischem Antrieb werden auch die Schwebebahnen versehen, die zur Beförderung von Kohlen und sonstigen Rohstoffen in der Industrie dienen, im Kriege als wertvolle Transportmittel bei den Vorbereitungen für die Gebirgskämpfe verwandt wurden und in neuerer Zeit als Bergbahnen im Hochgebirge mehrfach ausgeführt worden sind.

Kraftfahrzeuge.

Die Einführung und Verbreitung der Kraftfahrzeuge in den vergangenen Jahrzehnten ist allgemein bekannt. Sie ist die Folge einer besonders erfolgreichen technischen Entwicklung, die um 1900 noch kaum begonnen hatte. Der größte Teil der heute laufenden Kraftfahrzeuge wird durch mitgeführte Verbrennungsmaschinen angetrieben, die in ihrer Gesamtheit eine bedeutende Energiemenge im Dienst des Verkehrswesens entwickeln. Die Ausbildung dieser Motoren zu geeigneten betriebssicheren Fahrzeugmaschinen mit einfacher Bedienung war die erste Voraussetzung für die Verbreitung der Kraftfahrzeuge. Kleinstes Eigengewicht, geringer Raumbedarf, guter Massenausgleich der bewegten Teile auch bei hoher Geschwindigkeit, die Fähigkeit, die Drehzahl weitgehend ohne Verschlechterung des Arbeitsprozesses verändern zu können, Stoßfreiheit und Geräuschlosigkeit sind die wichtigsten Anforderungen an die Konstruktionen. Schon seit der Anfangszeit der Entwicklung der Automobilmotoren bildet die stehende geschlossene Vierzylindermaschine mit Ventilsteuerung die Grundform des Kraftwagenmotors. Die Zylinderzahl wird bei größerem Leistungsbedarf und zur Erzielung eines besonders gleichmäßigen Maschinengangs auf 6, 8 und mehr erhöht. Bei einzelnen Bauarten wurden die Zylinder in V-Form angeordnet. Die ersten Firmen, die den Bau von Kraftwagen aufnahmen, waren Daimler und Benz. In den ersten Jahren des Jahrhunderts galt der Kraftwagen als ein sportliches Gerät, das höchstens 2 oder 3 Personen befördern konnte. Zur Kraftübertragung vom

Motor auf die Hinterräder wurde eine Vorgelegewelle mit Riementrieben oder ein Kettentrieb verwandt. Erst später wurden Zahngetriebe eingebaut. Es folgte die Einführung der Kardanwelle und des Differentialgetriebes. Infolge Herabsetzung des Motorgewichts von 50 auf 20 und weniger kg/PS konnte die Antriebsleistung und damit die erreichbare Geschwindigkeit bedeutend erhöht werden. Die Herabsetzung des Gewichts wurde durch Konstruktionsverbesserungen und durch Verwendung hochwertigen Materials erreicht. Die Fortschritte bei der Herstellung von Stählen hoher Festigkeit und Härte und die Sicherstellung der Lieferung eines Materials gleichmäßiger Güte waren wichtige Voraussetzungen für die notwendige Betriebssicherheit der Motoren. Einen großen Einfluß haben die Automobilsteuer-Vorschriften auf die Konstruktionen der Kraftwagenmotoren ausgeübt. Die Fortschritte des Kraftwagenbaus sind äußerlich an den Veränderungen der Karosserien und der Anordnungen von Motor und Hilfseinrichtungen im Wagen erkenntlich. Der Motor wurde erst in oder unter dem Wagenkasten aufgestellt und erst später vor dem Führersitz hinter dem Kühler angeordnet. Während die ersten Wagen den Formen der Pferdefahrzeuge nachgebildet waren, entstanden bald eigene Bauarten für Automobilkarosserien, als man begann, auf erhöhte Festigkeit gegen Beschädigungen, Eignung für Reisen über große Entfernungen und auf geringen Luftwiderstand des Wagenkastens zu achten. Neben den leichten Personenwagen wurden schwere Fahrzeuge für Lasttransport und Omnibusse gebaut. Die ersten Omnibusse im Berliner Stadtverkehr hatten eine Motorleistung von 30 PS. Neuzeitliche Ueberlandomnibusse der Reichpost und der Kraftverkehrsgesellschaften sind mit Motoren von mehreren hundert PS Stärke ausgerüstet. Omnibusse und Lastwagen sind heute ebenso wie die Personenwagen für Fahrten auf großen Ueberlandstrecken geeignet und bilden eine wertvolle Ergänzung der Eisenbahn. Auch beim Ziehen schwerer Anhängefahrzeuge, wie Arbeits- und Möbelwagen wurde das Pferd durch die Verbrennungsmaschine in Schlepperfahrzeugen für langsamere Fahrt, aber große Zugleistung ersetzt. Neben den Wagen wurden auch Fahrräder mit Motorantrieb versehen. Das erste Motor-Fahrrad wurde von Daimler 1885 erbaut. Nach französischem Vorbild wurden auch Motor-Dreiräder hergestellt. Nach 1900 nahmen zahlreiche Firmen den Bau von Motorrädern auf und schufen im Lauf der Entwicklung verhältnismäßig billige und leistungsfähige Beförderungsmittel für 1 oder 2 Personen zur Ueberwindung großer Entfernungen. Es wurden meist 2-Takt-Motoren verwandt. Die ersten Motorräder enthielten nur 1 Zylinder und entwickelten Maschi-

nenleistungen von nur wenigen PS. Neuere Krafträder sind erheblich stärker und für Fahrgeschwindigkeiten über 100 km/h und zur Ueberwindung starker Steigungen befähigt. Die Zylinderzahl wurde für starke Räder auf 2 oder sogar 4 erhöht. Zu Beginn des Jahrhunderts suchte man auch die Dampfkraft auf frei beweglichen Straßenfahrzeugen zu verwenden. Wegen ihrer schwierigeren Betriebsweise konnten sich aber die Dampfkraftanlagen gegenüber den Verbrennungsmaschinen nicht durchsetzen. Die Elektromobile mit Kraftversorgung aus mitgeführten Akkumulattorenbatterien können wegen ihres beschränkten Fahrbereichs meist nur im Stadtverkehr, z. B. für Droschken, Verwendung finden und umfassen nur einen geringen Teil der Gesamtzahl der Kraftwagen. Eine sehr zweckmäßige Anwendung des Akkumulatorenfahrzeugs, die gegen Ende der Berichtszeit sehr schnelle Verbreitung fand, bilden die Elektrokarren. Ihre Vorzüge sind niedrige Betriebskosten, da die Akkumulatoren mit billigem Nachtstrom geladen werden können, und sehr bequeme Handhabung. Die starke Entwicklung des Kraftverkehrswesens hat eine neue Betätigung zahlreicher Industrie- und Gewerbezweige mit erheblichem Energieverbrauch zur Folge gehabt, wie Straßenbau, Kraftfahrzeugreparaturen und Treibstoffversorgung.

Schiffe.

Die im Jahre 1900 vorhandenen Seeschiffe wurden von Kolbendampfmaschinen angetrieben. Schon damals befanden sich an Bord der großen Dampfer gewaltige Kraftanlagen. Als in den 90er Jahren der Norddeutsche Lloyd und die Hamburg-Amerika-Linie den Schnelldampferbetrieb aufnahmen, wurden die Schiffe „Kaiser Wilhelm der Große“ mit 28000 PS und „Deutschland“ mit 30000 PS und das erste Dreischraubenschiff „Kaiserin Augusta“ gebaut. Der Bau der Schiffe und Maschinen auf deutschen Werften hatte sich erst um 1880 gegen die englische Konkurrenz durchsetzen können. Der deutsche Schiffbau war um die Jahrhundertwende in starkem Aufschwung begriffen. Starke Anregungen gingen auch vom Kriegsschiffbau aus. So entwickelte Schichau in Elbing um 1900 die leichten Torpedobootsmaschinen, die in der ganzen Welt große Beachtung gefunden haben. Später folgte die Krupp-Germaniawerft, Kiel. In diesen Jahren wurden 4 Panzerschiffe der Brandenburg-Klasse mit Maschinenleistungen von 15000 PS gebaut. Das erste Jahrzehnt des neuen Jahrhunderts brachte weitere Schiffsneubauten mit 3- und 4-fache Expansion und großen Leistungen. Um 1910 fand besonders die 3-fach-Expansions-3-Zylindermaschine mit 14 at-Heißdampfbetrieb häufig Anwendung. Die Einführung des Heißdampfes an Bord erfolgte viel lang-

samer als an Land, da die Vorteile der Ueberhitzung im Schiffsmaschinenbetrieb verhältnismäßig gering sind. Trotzdem fand die Schiffs-Heißdampfmaschine allmählich Verbreitung, die man nach Vorbild des Land-Dampfmaschinenbaus als Verbundmaschine, vielfach als Doppelverbundmaschine mit 2 Hochdruck- und 2 Niederdruckzylindern baute. Fortschritte zur Vereinfachung im Aufbau der Schiffs-Kolbendampfmaschinen und zur Verbesserung ihrer Wirtschaftlichkeit brachten die Vorschläge des Baurats Dr. Lentz, die die Einführung der Ventilsteuerung bezweckten. Nach diesen Entwürfen rüstete die Kaiserliche Marine im Jahre 1908 den Tender „Drache" mit Hauptmaschinen mit Lentz-Ventilsteuerung aus. Auf Grund der dort gemachten guten Betriebserfahrungen nahmen die großen Reedereien auf zahlreichen Seeschiffen Lentz-Schiffsdampfmaschinen in Betrieb, die sich bis heute bestens bewährt haben. Die Fortschritte der Dampferzeugungsanlagen durch Einführung der Wasserrohrkessel, die oben erwähnt worden sind, wurden in dieser Zeit auch im Schiffsbetrieb nutzbar gemacht. Am Ende des ersten Viertels des 20. Jahrhunderts wurde die Kolbenmaschine auch im Schiffsmaschinenbau für die Erzeugung großer Leistungen von der Dampfturbine abgelöst. Eine der letzten Anwendungen der Schiffskolbenmaschinen größter Leistung sind die Maschinen des Schnelldampfers „Columbus" mit 28000 PS. Etwa im Jahre 1905 zeigten sich die ersten Dampfturbinen als Antriebsmaschinen für Schiffe. Die Turbinen dienten zum unmittelbaren Antrieb der langsamlaufenden Propeller und hatten daher große Stufenzahlen, geringe Fliehkräfte und niedrige Baustoffbeanspruchungen, sodaß zwar eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigungen vorhanden war, aber ein hoher Wirkungsgrad nicht erreicht werden konnte im Gegensatz zu den ortsfesten Dampfturbinen für den Antrieb von Drehstromerzeugern mit hoher Drehzahl. Erst im dritten Jahrzehnt des Jahrhunderts fanden die Zahnradgetriebe allgemeine Anwendung für die Untersetzung der Drehzahlen der Schiffsturbinen. Sie schufen die Möglichkeit, sowohl Turbinen als auch Schiffsschrauben mit den zur Erzielung bester Wirkungsgrade günstigsten Drehzahlen laufen zu lassen. Durch Erhöhung der Drehzahl wurde ferner Raumbedarf und Gewicht der Turbinen bedeutend herabgesetzt. Als nach dem Kriege und nach Wiederanknüpfung internationaler wirtschaftlicher Beziehungen sich das Bedürfnis nach einer möglichst schnellen und komfortablen Schiffsverbindung zwischen Europa und Amerika wieder einstellte, ließ der Norddeutsche Lloyd zwei neuzeitliche Schnelldampfer „Bremen" und „Europa" mit etwa 27 Sm/h bauen. Diese Schiffe sind zur Zeit die

schnellsten im atlantischen Dienst. Sie sind mit je 4 Turbinensätzen ausgerüstet, die aus Hochdruck-, Mittel- und Niederdruckturbine bestehen und bei 1800 Umdr./Min. 130000 PS leisten. Der Kesseldruck beträgt 23 at. In neuester Zeit ist auch die Verwendung des Höchstdruckdampfes in den Schiffsmaschinenbau eingedrungen.

Der Schiffsantrieb durch Verbrennungsmaschinen wurde kurz vor dem Kriege in Versuchen erprobt und in der Nachkriegszeit auf großen Motorschiffen eingeführt. Wie in zahlreichen Gebieten der Technik hat auch hierbei der Krieg wichtige Versuche angeregt und bedeutende Fortschritte verursacht. Der Antrieb der Unterseeboote für die Ueberwasserfahrt wurde fast ausschließlich durch Verbrennungsmaschinen bewerkstelligt. Schon in den ersten Kriegsjahren wurde allgemein die Dieselmaschine angewandt. Sie hat sich in Ausführungen verschiedener Stärke in kleinen und großen U-Booten bei den außergewöhnlichen Beanspruchungen der Kriegsfahrten, die sich gegen Kriegsende von der Nordsee bis nach Amerika und zum Kap der guten Hoffnung ausdehnten, im allgemeinen glänzend bewährt. Diese günstigen Erfahrungen der Marine veranlaßten nach dem Kriege die Reedereien, bei Schiffsneubauten Dieselmaschinen zu verwenden. Nachdem anfangs einige U-Bootsmotoren mit ihrer hohen Drehzahl von 400 bis 450 Umdr./Min. nach Umbau für Handelsschiffe benutzt worden waren, wurden neue Konstruktionen von Schiffsmotoren entwickelt. Eine Reihe von Firmen widmete sich sogleich dem Bau dieser Motoren, wie M. A. N., Sulzer, Körting, A. E. G., Krupp-Germaniawerft und andere. Die Schiffsdieselmaschinen haben stehende Anordnung und entsprechend ihrer Leistung 4 bis 12 und mehr Zylinder. Das 2-Takt- und das 4-Takt-Verfahren fanden Anwendung. In neuster Zeit konnten die Vorzüge der kompressorlosen Einspritzung auch für Schiffsmotoren ausgenützt werden. Bei den Bestrebungen, Motoren als Hauptmaschinen auch für größte und schnelle Schiffe zu verwenden, ist es nach neusten Meldungen gelungen, eine Leistung von 2000 PS in einem Dieselzylinder zu erreichen.

Die Maschinen-Erfahrungen des Seeschiffsbetriebs wurden mit denen der Küsten- und Flußschiffahrt ausgetauscht, sodaß die Entwicklung der Antriebsmaschinen der Binnenschiffe im Großen und Ganzen den Gesichtspunkten des Seeschiffs-Maschinenbaus folgte.

Luftfahrzeuge.

Das neueste Anwendungsgebiet für den Verbrauch der Energie als Fahrkraft bilden die Luftfahrzeuge. An die Maschinen zur Energieerzeugung, die auch hier unmittelbar an der Verbrauchsstelle erfolgen muß, und an die Ein-

die Luftfahrzeuge die schwersten Anforderungen in Hinsicht auf geringes Gewicht, geringen Raumbedarf und Betriebssicherheit. Allein dem Verbrennungsmotor, der nach diesen Gesichtspunkten geeignet ist, war bisher die Verwendung als Kraftmaschine auf Flugzeugen und Luftschiffen vorbehalten. Die ersten Verbrennungsmaschinen, die in den Jahren 1906 bis 1909 den Versuchen zur Verwirklichung des Motorflugs dienten, waren nach dem Vorbild der Kraftwagenmotoren gebaut. Ihnen folgten neue Konstruktionen verschiedener Bauart. Außer Reihenmotoren und Zylinderanordnungen in V-Form wurden Sternmotoren gebaut, deren Zylinder in einer Ebene senkrecht zur Propellerwelle angeordnet sind. Außer Motoren mit Wasserkühlung wurden luftgekühlte Flugmotoren entwikkelt, die besonders in neuster Zeit häufig Anwendung finden. Mit Zylinderzahlen von 6 bis 12 und mehr wurden Leistungen von unter 100 bis 500 und mehr PS entwickelt. Wieder regten die Bedürfnisse des Krieges zu zahlreichen Neuerungen an, die gewaltige Fortschritte gebracht haben. In der Nachkriegszeit unterlag die Weiterentwicklung der deutschen Luftfahrt schweren Hemmungen durch die Bestimmungen des Versailler Vertrags. Erst im 3. Jahrzehnt des Jahrhunderts konnte der Ausbau der Einrichtungen für die Luftfahrt erfolgreich weitergeführt werden. Das heute in Betrieb befindliche größte deutsche Landflugzeug (Junkers G 38) ist mit 4 Motoren, je 800 PS ausgerüstet, das größte Wasserflugzeug (Do X) wird von 12 Motoren, je 500 PS, angetrieben.

In dem Abschnitt über die Luftfahrzeuge können die deutschen Zeppelin-Luftschiffe nicht unerwähnt bleiben. Wenn auch die bei den Fahrten einzelner Luftschiffe aufgewandten geringen Energiemengen für die allgemeine Kraftwirtschaft unbedeutend sind, so ist doch die Verwendung der Luftschiffe im transatlantischen Personen-, Post- und Gepäckverkehr nicht ohne Einfluß auf den Schnelldampferverkehr zwischen den Kontinenten geblieben. Das seit 1931 zwischen Friedrichshafen und Rio de Janeiro verkehrende Luftschiff LZ 127 („Graf Zeppelin") hat 5 Motoren je 420 PS und befördert 25 Fahrgäste, Post und Gepäck in 4 Tagen über eine Fahrtstrecke, die zu Schiff schnellstens in 12 Tagen bewältigt werden kann.

3. Sonstiges.

Heizung.

Für Heizung und Beleuchtung müssen Energien aufgewandt werden, die zum großen Teil auch der Krafterzeugung dienen können. Aus diesem Grunde stehen Heizung und Beleuchtung mit der Kraftwirtschaft in enger Verbindung und müssen auch hier als Energieverbraucher behandelt werden. Die in früherer Zeit in Deutsch-

land und jetzt noch stellenweise im Ausland gebräuchliche Kaminheizung findet bei uns jetzt noch selten Verwendung, da die Ausnützung des Brennstoffs sehr gering ist, die Erwärmung stark schwankt und nach Verlöschen des Feuers der Raum sofort erkaltet. Die Ofenheizung war vor 30 Jahren mit geringen Ausnahmen die allgemein angewandte Form der Raumheizung. Da sie sich durch einfache Bedienung und Regulierung und sicheren Betrieb auszeichnet, ist sie noch heute die am meisten verbreitete Heizungsform für kleine und mittelgroße Wohnungen. Nach Einführung des Leuchtgases wurden zur Erwärmung von Räumen, die selten und nur für kurze Zeit geheizt werden sollen, Gasöfen aufgestellt, die sich durch große Reinlichkeit und gleichmäßigen Betrieb auszeichnen, aber hohe Betriebskosten erfordern und auch gesundheitliche Nachteile haben. In neuerer Zeit werden auch elektrische Oefen benutzt. Sie können vorläufig nur als Aushilfsheizung dienen, da ihre Betriebskosten für Dauerheizung sehr hoch sein würden. Zentralheizungsanlagen waren in vereinzelten Ausführungen schon im vorigen Jahrhundert vorhanden. Auf der Weltausstellung 1900 wurden Dampf- und Warmwasserzentralheizungen gezeigt. In den folgenden Jahren wurden die Vorteile dieser Art der Beheizung, wie Fortfall der einzelnen Feuerungs- und Bedienungsstellen, der Kohlen- und Ascheförderung in den einzelnen beheizten Räumen, Erzielung gleichmäßiger Raumtemperaturen und Verringerung der Rauchplage für die meisten Neubauten von Geschäfts- und Verwaltungsräumen und für viele Wohnungen nutzbar gemacht. Von den Warmwasserheizungen wird meist die Niederdruck-Warmwasserheizung mit Wassertemperaturen bis 100° ausgeführt. Als Kessel dienen gußeiserne oder schmiedeeiserne Gliederkessel mit einfacher Wartung. Die Niederdruck-Dampfheizungen verwenden einen Dampfdruck von etwa 0,1 at Ueberdruck. Sie sind den Warmwasserheizungen wegen ihrer höheren Heizflächentemperaturen mit der unhygienischen Verbrennung des Staubes, schwieriger zentraler Regelung und Auftreten von Geräuschen unterlegen. In neuzeitlichen Bauten werden daher meist Warmwasser-Zentralheizungen eingebaut. Die Luftheizung, die auch schon am Ende des vorigen Jahrhunderts zur Ausführung gekommen war, bewirkt die Erwärmung der Räume in der Weise, daß Frischluft durch Dampf oder Wasser oder unmittelbar vom Feuer erwärmt und den zu beheizenden Räumen in Schächten zugeleitet wird. Ueber die Vereinigung von Krafterzeugung und Heizung durch Nutzbarmachung der Abwärme der Kraftmaschinen ist schon kurz berichtet worden. Bei der Heizung mit Zwischendampfentnahme werden Fabriken, Trockenräume usw. unter

richtungen zur Ausnützung der erzeugten Energie stellen wirtschaftlich günstigen Bedingungen mit Hilfe von Dampfentnahme aus dem Aufnehmer einer Kolbenmaschine oder mittels Anzapfdampf aus einer Dampfturbine mit Wärme versorgt. Bei der Abdampfheizung wird der aus den Gegendruckmaschinen entlassene Dampf einer Niederdruckdampfheizung zugeführt. Als Fernheizungen sind sowohl Dampf- als auch die in neuester Zeit bevorzugten Warmwasserheizungen ausgeführt worden. Außer den Zwecken der Raumheizung dienen Oefen in Haushalts- und Großküchen zu Kochzwecken, ferner in Bäckereien, Waschanstalten, Trocknungsbetrieben und zahlreichen anderen Gewerbe- und Industrieanlagen den verschiedensten Heizzwecken. Bei sehr vielen dieser Anlagen konnten in den letzten Jahrzehnten auf Grund wärmetechnischer Erkenntnisse wesentliche Verbesserungen der Brennstoffausnutzung und Erhöhungen der Leistungsfähigkeit erzielt werden.

Beleuchtung.

Nachdem im Jahre 1878 die erste Anwendung der Elektrizität für Beleuchtungszwecke erfolgt war, begann 1883 in Deutschland ein neuer Zeitabschnitt auf dem Gebiete des Beleuchtungswesens durch Einführung der elektrischen Glühlampe. Die folgenden Vorzüge sicherten in den Jahren um 1900 der elektrischen Beleuchtung eine rasch zunehmende Verbreitung: Bequeme und sichere Ein- und Ausschaltbarkeit, kein Sauerstoffverbrauch, keine Abgabe von Verbrennungsprodukten und geringe Wärmeentwicklung. Die geschichtlichen Daten über die Entwicklung der Glühlampen sind:

		Stromverbrauch in Watt/H. K.
Kohlenfadenlampe	1889	3,5—5
Kohlenfadenlampe, metallisiert	1905	2 —2,5
Tantallampe	1902	1,6
Wolframfadenlampe	1906	1,2
Wolframdrahtlampe	1910	1,0
Gasfüllungslampe	1913	0,6—0,95

Wie die Angaben über den Stromverbrauch erkennen lassen, wurde durch technische Fortschritte eine ständige Verbilligung der elektrischen Beleuchtung erreicht, die eine Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit gegen die anderen Beleuchtungsarten ergab. Die in den ersten Jahren des neuen Jahrhunderts für die Beleuchtung der Straßen und Plätze allgemein benutzten elektrischen Bogenlampen wurden aus diesen Gründen allmählich durch die leistungsfähigere Glühlampe verdrängt. Eine erhebliche Zunahme des Energieverbrauchs in den Städten brachte in neuerer Zeit, besonders im letzten Jahrzehnt, die starke Vermehrung der Effekt- und Reklamebeleuchtung. Auf Grund photometrischer Untersuchungen konnten eine zweckmäßige

und ausreichende Lichtversorgung der Arbeitsplätze in Fabriken, Büros und Geschäften und eine besonders wirkungsvolle Beleuchtung von Schaufenstern, von Reklameflächen und ganzen Häuserfronten bewerkstelligt werden. Die Reklamewirkung der Lichtanlagen führte zur Ausdehnung der Beleuchtungsdauer über den abendlichen Geschäftsschluß hinaus. Neben den Glühlampen tragen heute die Glimmentladungslampen mit ihren durch die Art der Gasfüllung bewirkten verschiedenen Lichtfarben zu dem strahlenden Lichtmeer bei, das unsere Großstadtstraßen am Abend überflutet. Das Gasglühlicht fand in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts große Verbreitung in Wohnräumen und auf Straßen und Plätzen. In späterer Zeit gelang es, durch Einführung verschiedener Neuerungen die Ueberlegenheit der elektrischen Beleuchtung in mancher Hinsicht auszugleichen. Wegen des Angebots billigen Leuchtsgases wird trotz dem Vordringen der elektrischen Lichtversorgung das Gaslicht, besonders als städtische Straßenbeleuchtung, noch heute sehr häufig benutzt.

Fernmeldewesen.

Die elektrische Nachrichtenübermittlung über den Draht, die in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts in die Praxis eingeführt wurde, verbrauchte anfangs nur geringe Energiemengen von niedriger Spannung. In der ersten Zeit der gewaltigen Entwicklung des Telegraphen- und Fernsprechwesens dienten ausschließlich galvanische Elemente als Stromquellen der Anlagen. Mit der Ausdehnung der durch die Nachrichtenmittel überbrückten Entfernungen und dem starken Anwachsen des Nachrichtenverkehrs stiegen auch die verbrauchten Energiemengen. Bei der drahtlosen Nachrichtenübermittlung ist der Kraftbedarf weit größer. Die erste praktische Anwendung der Funkentelegraphie in Deutschland bildete um 1900 der Nachrichtenverkehr zwischen dem Feuerschiff „Borkum-Riff“ und dem Leuchtturm in Borkum, der die eingegangenen Nachrichten an das deutsche Telegraphennetz weitergab. 1905 folgte dann eine Funkverbindung zwischen Berlin und Dresden. Gleichzeitig entwickelte man für die Schiffahrt Bordstationen mit zunächst stark beschränktem Sendebereich. Am Ende des ersten Jahrzehnts unseres Jahrhunderts waren alle größeren Handelsschiffe und jedes Kriegsfahrzeug mit Funksende- und -empfangsanlagen ausgestattet. Nachdem es 1907 von England aus zum ersten Mal gelungen war, eine drahtlose Nachrichtenverbindung mit Amerika herzustellen, wurde die deutsche Sendeanlage in Nauen gebaut, die damals größte Funkstation der Welt. Die Erregung der Antenne durch Wechselstrom sehr hoher Frequenz wurde bei den sogenannten Maschinensen-

dern durch geeignete Wechselstrommaschinen bewirkt, die einen Strom mittlerer Frequenz lieferten, die durch geeignete Schaltung erhöht wurde. Die äußerst rasche Entwicklung der Funktechnik und ihre allgemeine Verbreitung in neuerer Zeit wurde erst durch die Einführung der Elektronenröhre ermöglicht, die für die Erzeugung von Schwingungen und für die Verstärkung des Empfangs die Anwendung großer Leistungen gestattete. Im letzten Jahre gelang es, für die neusten Rundfunksender 300 kW-Röhren zu bauen. Die allgemeine Einführung der drahtlosen Telephonie nach dem Kriege und ihre Benutzung für Rundfunksendungen erforderten die Errichtung zahlreicher Sendestationen, die ihren Kraftbedarf aus dem öffentlichen Stromnetz decken. In neuster Zeit wurden von der Deutschen Reichspost nach dem Beispiel des Auslandes Großsender mit 50 kW und mehr Leistung aufgestellt, um bei der dauernden Zunahme der ausländischen Sender einen störungsfreien Empfang zu sichern.

Wenn wir auf den gesamten Abschnitt über den Verbrauch der Energie zurückblicken, so erkennen wir eine starke Zunahme der Verwendung der Maschinenkraft auf den verschiedensten Gebieten menschlicher Betätigung seit dem Ende des 19. Jahrhunderts, die geradezu als Mechanisierung und Motorisierung des Landes bezeichnet werden kann. Wie wir schon bei der Behandlung der Energieverteilung hervorhoben, konnte die Maschinenkraft in der elektrischen Form am weitesten zu den Stellen des Kraftbedarfs vordringen. Der Elektromotor ist daher schon frühzeitig die am meisten verbreitete Antriebsmaschine geworden. Die zahllosen Konstruktionen von Arbeitsmaschinentypen, die allen erdenklichen Möglichkeiten der Anwendung der Maschinenenergie gerecht zu werden suchten, schufen Gelegenheit, die dargebotene Kraft zu verwerten und förderten auch von der Seite des Verbrauchs her die Entfaltung der Energiewirtschaft. Nachdem die Einführung der Werkzeugmaschinen eine bedeutungsvolle Steigerung der Leistungsfähigkeit der Industrie bewirkt hatte, konnten auf dem Gebiete der Hebezeuge, der Pumpen und Kompressoren und zahlloser sonstiger Spezialmaschinen technische Hilfsmittel zur Ausnützung der Maschinenkraft für die verschiedensten Bedürfnisse bereitgestellt werden. Nach dem Kriege gelang es der Technik, auch in schwerer zugänglichen Gebieten, wie in der Landwirtschaft, der Maschinenenergie Eingang zu verschaffen. Bedeutende Fortschritte auf maschinentechnischem Gebiete wurden in der Nachkriegszeit auch im Bereich des Verkehrswesens gemacht, wie allein aus der Anwendung der Fahrkraft in Kraftfahrzeugen deutlich zu erkennen ist. Obgleich Deutschland sich auf dem Gebiete

des Kraftverkehrs bezüglich der Anzahl der Fahrzeuge anderen Ländern gegenüber stark im Rückstand befindet, mußte doch der in der Berichtszeit auf diesem Verbrauchsgebiet entstandene Kraftbedarf die Entwicklung der Kraftwirtschaft erheblich beeinflussen. Die Verwendung vieler neu entwickelter Arbeitsmaschinen ergab neue technische Fortschritte, die durch Entstehung besserer Maschinen und Erweckung neuer Bedürfnisse eine weitere Ausbreitung der Kraftwirtschaft zur Folge hatten. Die Massenfertigung vieler Gebrauchsgüter im letzten Jahrzehnt beruhte auf einer besonders weitgehenden Benutzung der Maschinenkraft an Stelle früher verwander Handarbeit.

IV. Die Folgen der Strukturveränderungen für die Volkswirtschaft.

A. Wirtschaftliche Ausnützung der Energiequellen.

Aus den durch die geschilderte technische Entwicklung verursachten Veränderungen der Kraftwirtschaftsstruktur ergaben sich bedeutende Vorteile für die Volkswirtschaft. Die Durchführung der Konzentration ermöglichte einen Ueberblick über die Kraftwirtschaft des Reiches und setzte die führenden Stellen in den Stand, auf Einrichtung und Betriebsführung der technischen Anlagen Einflüsse auszuüben, die den wirtschaftlichen Bedürfnissen der Allgemeinheit dienen. Während bei der Krafterzeugung in vielen von einander unabhängigen Betrieben die Auswahl des Rohstoffs und der Maschinenart nach den an den einzelnen Orten maßgebenden Gesichtspunkten erfolgte, ermöglichte die Großkraftversorgung von wenigen Zentralstellen aus eine planmäßige Verwendung der nationalen Rohstoffe und einen sparsamen Haushalt mit den vorhandenen Vorräten durch Auswahl der billigsten Energiequellen, z. B. der Wasserkraft. Durch Zusammenfassung der Krafterzeugung in großen Kraftwerken konnte man eine bedeutende Steigerung des Wirkungsgrades der Anlagen und damit eine höhere Ausnützung der Rohstoffe und eine Verbilligung der Energiebeschaffung erzielen, da große wirtschaftlich arbeitende Kraftmaschinen, neuzeitliche Hilfsanlagen und Einrichtungen zur Speicherung und Spitzendeckung, die oben besprochen wurden, angewandt und zur vollen Wirkung gebracht werden können. Als Beispiel diene die durch Elektrisierung der Bahnen erzielte Brennstoffersparnis. Weitere Möglichkeiten zur Verringerung von Energieverlusten bot die auf Großkrafterzeugung umgestellte Energiewirtschaft durch weitgehende Ausnutzung der Abfallenergie verschiedenster Art. So

konnte bei der Elektrizitätsversorgung zunächst durch Anwendung einer zweckmäßigen Tarifpolitik auf einen Ausgleich der Kraftbedarfsschwankungen und auf eine verstärkte Abgabe überschüssiger Energie hingewirkt werden. Geringwertige Abfallenergie wird gesammelt in größeren Mengen denjenigen Betrieben zugeführt, denen eine nutzbare Weiterverwendung möglich ist. Bei der oben besprochenen Kuppelung von Kraft- und Heizanlagen werden vielfach bedeutende Abdampfmengen zu Heizzwecken in Trockenanlagen, Treibhäusern, Küchen, Wohnungen usw. verbraucht. Abfallenergien in Form von heizkräftigen chemischen Verbindungen, wie Kokerei- und Hochofengase können nach Verteilung auf große Absatzgebiete Brennstoffe in höherwertigen Energieformen in großem Umfange ersetzen. Auch die sparsame Ausbeutung der inländischen Oelquellen und eine nach volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten geleitete Veredlung und Verwendung ausländischer Brennstoffe kann auf der Grundlage der neuzeitlichen Struktur der Kraftwirtschaft durchgeführt werden.

B. Technische Fortschritte.

Bei der Betrachtung der technischen Fortschritte, die im Zeitalter der Veränderungen der kraftwirtschaftlichen Struktur gemacht worden sind, sind Ursache und Wirkung vielfach nicht leicht zu unterscheiden. Die Entwicklung verlief meist so, daß technische Fortschritte eine wirtschaftliche Neuordnung verursachten, und daß dann die eingetretenen Strukturveränderungen neue technische Vervollkommnungen auslösten. So konnten Maschinen und Apparate der Großkraftwerke erst weiterentwickelt und ergänzt werden, als Erfahrungen aus dem Großbetrieb vorlagen und sich dort neue Bedürfnisse eingestellt hatten. Die neugeschaffene Möglichkeit des Energieabsatzes in Stadt und Land diente als Anlaß, die Einrichtungen für die Energieverteilung so auszugestalten, daß eine möglichst einfache und bequeme Entnahme möglich ist. Besonders auf dem Gebiete des Energieverbrauchs gaben die neuen Formen der Kraftwirtschaft reichliche Veranlassung zu technischen Verbesserungen und Neuschöpfungen. Viele derartigen energieverbrauchenden Neuerungen sind oben unter den Ursachen der Veränderungen erwähnt worden. An erster Stelle müssen hier die vielfältigen Anwendungsformen des Elektromotors genannt werden. Auch auf Gebieten, die nur mittelbar mit der Kraftwirtschaft in Verbindung stehen, sind technische Fortschritte als Folgen der eingetretenen Veränderungen zu verzeichnen. So förderte der Ausbau der Wasserkraftwerke die Einrichtung von Anlagen für Stromregulierung und Hochwasserschutz,

die Fortschritte des Verkehrswesens regten den Straßenbau an, und die verstärkte Anwendung der Telephonie ermöglichte zahllose Verbesserungen der Verkehrstechnik. Im allgemeinen schuf die Entwicklung der neuzeitlichen Kraftwirtschaft die Grundlagen zur technischen Ausgestaltung von Industrie und Gewerbe für die Produktion der Gebrauchsgüter, die als Vorzüge und Annehmlichkeiten des modernen Lebens geschätzt werden.

C. Die Nachteile der Veränderungen.

Die bei den Veränderungen der Kraftwirtschaftsstruktur geschlossenen Verbindungen der Kraftwerke untereinander und mit den Verbrauchsstellen durch die Einrichtungen zur Energieverteilung mußten naturgemäß gewisse Einschränkungen der Selbständigkeit und Unabhängigkeit der einzelnen Betriebe zur Folge haben, die unter Umständen als Nachteile der Neuordnung anzusehen sind. Die an die öffentliche Kraftversorgung angeschlossenen Verbraucher sind in der Regel völlig auf die ungestörte Fremdbelieferung mit Energie angewiesen, da die Unterhaltung eigener Reserve-Kraftquellen aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Betracht kommt. Durch eine Unterbrechung der Strombelieferung infolge Ausfalls der Kraftmaschinen, Einwirkungen von Streik oder Sabotage oder infolge Zerstörungen im Kriegsfall wird der Betrieb des Verbrauchers lahmgelegt, ohne daß der Betroffene selbst zur Verhütung der Störung und zu deren Behebung beitragen kann. Die entstehenden Schäden können sowohl bei Stillegung großer Privatbetriebe als auch bei Störungen öffentlicher Betriebe, wie elektrisierter Bahnen, Licht- oder Wasserversorgung sehr groß sein. Auch bei der neuzeitlichen Art der Bewirtschaftung der Energie in anderer Form liegen ähnliche Nachteile vor. Bei der Versorgung ausgedehnter Betriebe mit Dampf zu Kraft- oder Heizzwecken versagen bei Ausfall der Kesselanlage oder Zerstörung der Dampfleitungen die angeschlossenen Dampfmaschinen und Heizanlagen. Von langen Gasleitungen versorgte Licht-, Wärme- oder Kraftanlagen werden bei Abstellen der Gasquelle oder bei Bruch des Hauptgasrohres unbrauchbar, wenn nicht Vorratsspeicher zur Aushilfe zur Verfügung stehen. Bei Wasser- und Windkraftanlagen müssen zum Schutz gegen Betriebsunterbrechungen infolge Ausfalls des natürlichen Rohstoffs schon bei Aufstellung der Krafterzeuger Speichereinrichtungen vorgesehen werden. Bei der Beurteilung der aufgeführten Nachteile der Veränderungen in der Kraftwirtschaft muß berücksichtigt werden, daß gerade die Einschränkungen und Abhängigkeiten, die die Neuordnung der Kraftversorgung mit sich brachte, die Grundlagen für die erreichten wirtschaftlichen

Vorteile sind, und daß die Fortschritte nur dadurch erzielt werden konnten, daß alle Betriebe sich einem großen Plan unterordneten. Die Gefahren der Betriebsstörungen durch unbeabsichtigte oder absichtliche Unterbrechung der Energiezufuhr sind durch Verlegung von Ringleitungen mit mehreren Kraftquellen und durch organisatorische Maßnahmen, wie die Einrichtung der technischen Nothilfe, herabgesetzt worden.

V. Abschließende Betrachtungen.

A. Vergleich mit der Entwicklung der Kraftwirtschaft des Auslandes.

Die Kraftwirtschaft der ausländischen Staaten hat sich in der von uns behandelten Zeit seit der Jahrhundertwende in ähnlicher Weise wie die deutsche zu einer höheren Vollkommenheit entwickelt, da die technischen Grundlagen vielfach die gleichen waren, besonders in den westeuropäischen Ländern. Immerhin verursachten die Unterschiede der Rohstoffverhältnisse, die Eigenarten der Bevölkerung und andere Gründe Abweichungen, die zum Vergleich mit der deutschen Entwicklung erwähnt werden sollen.

In Oesterreich bildeten in der Vorkriegszeit die großen sudetendeutschen Lager hochwertiger Kohlen die Grundlagen der Kraftwirtschaft. Als bei Kriegsschluß die Loslösung der übrigen Teile der Monarchie erfolgt war, konnten die in Oesterreich selbst befindlichen geringen und minderwertigen Kohlenvorräte den vorhandenen Energiebedarf nicht decken. Eine Aushilfe boten die in reichlichem Maße zur Verfügung stehenden Wasserkräfte des Landes, die auf 2 Mill. kW geschätzt werden. Ein bedeutender Teil von ihnen wurde in etwa 10 Jahren für die Energieerzeugung ausgebaut. Die bedeutendsten österreichischen Wasserkraftwerke sind das Speicherwerk bei Partenstein in Oberösterreich für 70000 kW und das Bahnkraftwerk Mallnitzwerk in Kärnten mit 14700 kW Leistung. Der rasche Anstieg der Elektrizitätserzeugung, der sogar eine zunehmende Energieausfuhr nach Deutschland und der Schweiz ermöglichte, bewirkte eine starke Zurückdrängung der übrigen Energieformen, zumal da die Elektrizitätswirtschaft vom Staate wirksam gefördert wurde.

Die Energiewirtschaft der Schweiz ist ausschließlich auf der Elektrizitätserzeugung begründet, deren Rohstoff die gewaltigen Wasserkräfte des Landes bilden. Die Wasserkraftwerke, die zum Teil schon im ersten Jahrzehnt des Jahrhunderts in Betrieb genommen wurden, waren in

ihrer Leistung durch die starken Schwankungen der verfügbaren Wassermengen beeinträchtigt. Erst die Verlegung eines einheitlichen Kraftnetzes konnte einen Ausgleich der Erzeugungsschwankungen der einzelnen Anlagen herbeiführen. Die Elektrizitätserzeugung befindet sich zum großen Teil in öffentlicher Hand. Das größte schweizerische Kraftwerk ist das Wäggitalwerk mit einer installierten Leistung von über 100000 kW. Die Schweiz führt bedeutende Mengen elektrischer Energie nach Deutschland, Italien und Frankreich aus.

In England bildete seit jeher die Steinkohle die Grundlage der Krafterzeugung. Im Jahre 1926 hatten etwa 98 v. H. der Maschinen der öffentlichen Krafterzeugung Dampfantrieb. Entsprechend der starken privatwirtschaftlichen Einstellung und wirtschaftlichen Uneinheitlichkeit des Landes zeigt auch die Struktur der Kraftwirtschaft kein einheitliches Bild. Die öffentliche Energieversorgung beruht meist auf städtischen Kraftwerken, denen gegenüber dem Staat seit dem Krieg gewisse Aufsichtsrechte gesetzlich zuerkannt sind. Das Ueberwiegen der örtlichen Stromerzeugung durch zahlreiche nebeneinander bestehende Unternehmen und das Fehlen einheitlicher Kraftverteilungsanlagen kommt in einer auffälligen Rückständigkeit der Bevölkerung in bezug auf die Anwendung der Energie zur Auswirkung.

Im Gegensatz zu diesen Verhältnissen steht die Kraftwirtschaft Irlands, die in neuerer Zeit hauptsächlich auf die im Lande verfügbaren Wasserkräfte gegründet wurde. Das gewaltige Kraftwerk am Shanon wurde durch die Siemens-Schuckert-Werke im ersten Ausbau mit 3 Francisturbinen von je 28000 kW ausgerüstet und soll nach Fertigstellung 7 derartige Maschinensätze enthalten. Für die Energieverteilung auf der Insel wurde eine 100 kW-Leitung verlegt, die über Umspannwerke und ein Mittelspannungsnetz die Verbraucher versorgt.

Italien verfügt über keine eigenen Vorräte an Kohlen. Vor dem Kriege wurden daher für die Zwecke der Energieerzeugung, die größtenteils in privaten Kraftwerken erfolgte, große Mengen Steinkohle eingeführt. In der Nachkriegszeit wandte man sich der Krafterzeugung aus den gewaltigen Wasserkräften des Landes zu und baute zahlreiche leistungsfähige Wasserkraftwerke in den Alpen und Apenninen. Zum Ausgleich der Schwankungen der anfallenden Wassermengen dienen große Speicheranlagen und ferner die vorhandenen Dampfkraftwerke mit etwa 20 v.H. der Gesamtleistung. Der Bau eines einheitlichen Verteilungsnetzes und die Elektrisierung der Bahnen wird mit Nachdruck betrieben.

Auch in Frankreich sind die öffentlichen Stromverteilungsanlagen noch im Ausbau begriffen. Die städtischen und privaten Werke, die vor dem Kriege die öffentliche Stromerzeugung betrieben, wurden zu diesem Zweck einheitlich zusammengeschlossen. Die Krafterzeugung beruht auf den Steinkohlenvorräten bei Lille und auf den Wasserkräften der Alpen, des Zentralmassivs und der Pyrenäen. Die gesamte installierte Leistung der öffentlichen Werke betrug 1926 2 Mill. kW, von denen 2,1 Mill. kW durch Wasserkräfte gedeckt wurden. Eine bedeutende Menge elektrischer Energie wird ferner aus der Schweiz eingeführt.

Zum Schluß sei noch auf die weit entwickelte Energiewirtschaft der Vereinigten Staaten von Nordamerika eingegangen. Das Land ist durch besonderen Reichtum an Rohstoffen gesegnet. Sowohl mächtige, leicht abzubauende Steinkohlenlager, ferner Braunkohlen und Oel, als auch bedeutende Wasserkräfte sind vorhanden. In den vergangenen Jahrzehnten wurden zur Krafterzeugung hauptsächlich die Steinkohlen verwandt. An der öffentlichen Erzeugung sind die Steinkohlenwerke mit etwa 60 v. H. beteiligt. In neuerer Zeit ist man bestrebt, die ausbauwürdigen Wasserkräfte für die Elektrizitätserzeugung anzuwenden. Die Kraftwerke befinden sich in den Händen einiger Gesellschaften, die auch über eigene Stromverteilungsanlagen verfügen. Der Staat übt nach amerikanischer Gepflogenheit nur ein Genehmigungsrecht aus und erteilt Ratschläge beim Entwurf großer Kraftwerke. Durch Zusammenschluß der Bezirksnetze zu einer einheitlichen Verteilungsanlage wurde die Stromversorgung des ganzen Landes mit seinen riesigen Entfernungen ermöglicht. Die amerikanische Elektrizitätswirtschaft hat sich besonders nach dem Kriege gewaltig entwickelt. In dieser Zeit wurde eine wirtschaftliche Beteiligung der Stromabnehmer an den Elektrizitätsunternehmen eingeführt. Der Stromverbrauch auf den Kopf der Bevölkerung beträgt, besonders in den großen Städten, ein Vielfaches des Verbrauchs in Deutschland. Die Gesamt-Stromerzeugung in öffentlichen Werken betrug 1920 43550 und 1925 64750 Mill. kW/h.

B. Zukunftsaussichten der deutschen Kraftwirtschaft.

Die seit mehreren Jahren alle Länder bedrückende Wirtschaftskrise hat auch die deutsche Kraftwirtschaft in ihrer Entwicklung aufgehalten und zurückgedrängt. Obwohl trotz dieser Hemmungen neue Fortschritte in der Technik der Kraft- und Arbeitsmaschinen erzielt werden konnten, fehlte bisher die Möglichkeit zur Verwertung der Neuerungen. Ob in der nahen Zukunft eine neue Entfaltung der Wirtschaft zu erwarten ist, kann heute nicht

vorausgesagt werden. Der Verlauf der bisherigen Entwicklung und die bedeutenden Erfolge der Technik in neuster Zeit, z. B. auf dem Gebiete der Dampferzeugung, der Verbrennungsmaschinen und der Anwendung der elektrischen Energie, berechtigen aber zu der Hoffnung, daß, sobald die gesamtwirtschaftliche Lage neue Regungen gestattet, die deutsche Kraftwirtschaft mit ihren segensreichen Wirkungen weiter vordringen wird.

Literaturverzeichnis.

1. Bücher:

Barth: Die Dampfmaschinen, Berlin 1916.
Barth: Wahl, Projektierung und Betrieb von Kraftanlagen, Berlin 1919.
Biedermann: Das Eisenbahnwesen, Berlin 1919.
Blankenstein: Deutschlands Energiehaushalt in Gegenwart und Zukunft, Diss. Berlin 1924.
van der Borght: Das Verkehrswesen, Leipzig 1925.
Bundschu: Wasserkraftanlagen, Berlin 1929.
Buth: Die Energiequellen Deutschlands und ihre Bedeutung für die Elektrizitätswirtschaft, Diss. Berlin 1922.
Crasselt: Die geschichtliche Entwicklung der öffentlichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland und ihre zukünftige Gestaltung unter besonderer Berücksichtigung der Landwirtschaft, Diss. Gießen 1928.
Conrad: Grundriß der politischen Oekonomie, Jena 1923.
Dubbel: Kolbendampfmaschinen und Dampfturbinen, Berlin 1923.
Fischer: Elektrizitätswirtschaft, Berlin 1928.
Grünfeld: Die Beziehungen der Berliner Großbanken zur Industrie unter besonderer Berücksichtigung der Elektrizitätsindustrie und des Petroleummarktes in der Nachkriegszeit, Diss. Berlin 1925.
Güldner: Verbrennungskraftmaschinen, Berlin 1920.
Hartmann: Hochdruckdampf, Berlin 1925.
Hermann: Deutschlands Elektrizitätsindustrie und Elektrizitätswirtschaft, Diss. Tübingen 1916.
Herrmann: Elektrotechnik, Berlin 1925.
Holl-Treiber: Die Wasserturbinen, Berlin 1926.
Hütte: Des Ingenieurs Taschenbuch, Berlin 1926.
Kirschke: Gasmaschinen und Oelmaschinen, Berlin 1925.
Klingenberg: Bau großer Elektrizitätswerke.
Köpke: Probleme der Elektrizitätspolitik in Deutschland, Diss. Erlangen 1931.
Krohne: Die wirtschaftliche Erzeugung der elektrischen Spitzenkraft in Großstädten, Diss. Berlin 1929.
Kromer: Betrachtungen über die Wirtschaftlichkeit neuzeitlicher Kraftwerke, Diss. Karlsruhe 1930.
von Miller: Gutachten über die Reichselektrizitätsversorgung, Berlin 1930.
Musil: Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung für Elektrizitätswerke, Diss. Dresden 1930.
Ostertag: Kolben- und Turbokompressoren, Berlin 1923.
Rißmüller: Der Standort der Torfkraftwerke, ihr Bau und Betrieb, Diss. Karlsruhe 1923.
Ritter: Die öffentliche Elektrizitätsversorgung in Deutschland, Diss. Berlin 1917.
Scheerer: Die Bedeutung der elektrischen Energie für das Wirtschaftsleben, Diss. Heidelberg 1929.
Scherr-Thoß: Die motorische Kraft in der Landwirtschaft und ihre volkswirtschaftliche Bedeutung, Diss. Breslau 1924.
Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Berlin 1926 bis 1932.
Schmidt: Die Betriebskonzentration der öffentlichen Elektrizitätserzeugungsstätten Deutschlands, Diss. Halle 1926.

Speckhardt: Zur Sozialisierung der Elektrizitätswirtschaft, Diss. Gießen 1919.
Statistik des Deutschen Reichs, Berlin 1895 bis 1927.
Stodola: Dampf- und Gasturbinen, Berlin 1922.
Thielsch: Die Bedeutung des Dampfdrucks für den Bau und die Wirtschaftlichkeit von elektrischen Großzentralen, Diss. Berlin 1920.
Verein deutscher Ingenieure: Beiträge zur Geschichte der Technik und Industrie, Berlin 1920 bis 1926.
Wasserkraftjahrbuch, München 1924.
Weber: Eine volkswirtschaftlich-statistische Untersuchung der deutschen öffentlichen Elektrizitätsversorgung, Diss. Gießen 1928.
Wilda: Die Dampfturbinen, Berlin 1920.

2. Zeitschriften:

Archiv für Wärmewirtschaft, Berlin.
Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.
Maschinenbau, Berlin.
Technik in der Landwirtschaft, Berlin.
Technik und Wirtschaft, Berlin.
V. d. I.-Nachrichten, Berlin.
Werft-Reederei-Hafen, Berlin.
Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Berlin.

Verzeichnis der Dozenten, bei denen der Verfasser während seines Studiums gehört hat.

Prof. Dr. Aubin, Halle,
Prof. Dr. Bilfinger, Halle,
Prof. Dr. Brodnitz, Halle,
Geh.-Rat Prof. Dr.-Ing. E. h. Flamm, Berlin,
Geh.-Rat Prof. Dr. Heyn, Berlin,
Geh.-Rat Prof. Dr.-Ing. E. h. Hüllmann, Berlin,
Prof. Dr.-Ing. Gümbel, Berlin,
Prof. Dr. Jahn, Halle.
Privatdozent Dr. Jecht, Halle.
Geh.-Rat Prof. Dr. Jolles, Berlin,
Geh.-Rat Prof. Dr.-Ing. Josse, Berlin,
Prof. Dr. Köhne, Berlin.
Prof. Krainer, Berlin,
Geh.-Rat Prof. Dr. Kurlbaum, Berlin,
Prof. Laas, Berlin.
Geh.-Rat Prof. Romberg, Berlin,
Prof. Dr. Rothe, Berlin.
Prof. Dr. Weber, Berlin,
Prof. Dr. Wedding, Berlin,
Prof. Wolf, Berlin,
Prof. Dr. Wolff, Halle.

Lebenslauf.

Am 30. März 1898 wurde der Verfasser in Breslau geboren als Sohn des Prof. Dr. Hugo Neubauer, jetzigen Leiters der Staatl. landwirtschaftlichen Versuchsanstalt zu Dresden und seiner Frau Hedwig, geb. Rabovsky. In Bonn am Rhein besuchte er das humanistische Königliche Gymnasium. Nach Ablegung der Reifeprüfung in Bonn im Juni 1915 stand er bis Ende 1918 im Kriegsdienst bei der Kaiserlichen Marine, das letzte Jahr als Seeoffizier.

Von Anfang 1919 an studierte er an der Technischen Hochschule zu Berlin Schiffsmaschinenbau und bestand dort im Frühjahr 1921 die Diplom-Vorprüfung und im März 1923 die Diplom-Hauptprüfung. Im Juli 1923 erhielt er eine Anstellung als Konstrukteur bei den Vulcan-Werken in Hamburg, und im Dezember 1926 trat er als Ingenieur in den Dienst der I. G.-Farbenindustrie. Vom Januar 1927 bis jetzt ist er als Betriebsingenieur im Ammoniakwerk Merseburg tätig.

Nachdem der Verfasser schon an der Technischen Hochschule zu Berlin volkswirtschaftliche Studien betrieben hatte, widmete er sich vom Winter-Semester 1931/32 ab während eines Semesters als Gasthörer und während der drei folgenden Semester als Studierender der Rechts- und Staatswissenschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg dem Studium der Nationalökonomie, in dessen Verlauf die vorliegende Dissertation entstand.

Seit Juli 1933 gehört der Verfasser einem Motor-Sturm der S. A. der N. S. D. A. P. an.

Eduard Klinz Buchdruck-Werkstätten Halle (Saale), Dölauer Str. 14
Spezialdruckerei für Wissenschaftliche Werke und Dissertationen